



SKRIPSI – TK141581

**PROSES KATALITIK PIROLISIS UNTUK CRACKING
BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT
ALAM**

Oleh :

**Riskhany Yulianti
NRP. 2314106010**

**Arteria Widya U.L
NRP. 2314106036**

**Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 196208201989031004**

**Prof. Dr. Ir Ali Altway, MS.
NIP. 195108041974121001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT – TK141581

**CATALYTIC PYROLYSIS PROCESS FOR BITUMEN
CRACKING FROM ASBUTON WITH NATURAL
ZEOLITE AS CATALYST**

**Proposed by :
Riskhany Yulianti
NRP. 2314106010**

**Arteria Widya Utama L.
NRP. 2314106036**

**Research Advisor:
Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 196208201989031004**

**Prof. Dr. Ir Ali Altway, MSc.
NIP. 195108041974121001**

**DEPARTMENT TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PROSES KATALITIK PIROLSIS UNTUK CRACKING BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Riskhany Yuliarti
Arteria Widya Utama L.

NRP : 2314 106 010
NRP : 2314 106 036

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Susianto, DEA

..... (Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MS

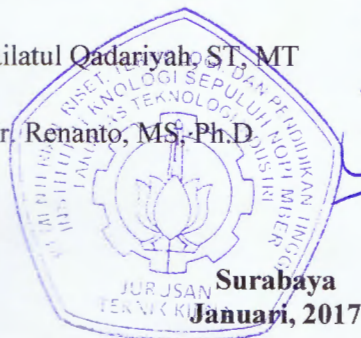
..... (Pembimbing II)

3. Dr. Lailatul Qadariyah, ST, MT

..... (Penguji I)

4. Prof. Ir. Renanto, MS, Ph.D.

..... (Penguji II)



PROSES KATALITIK PIROLISIS UNTUK CRACKING BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM

Dosen Pemimbing : Dr. Ir. Susianto, DEA

Prof. Dr. Ir Ali Altway, MS

Nama : Riskhany Yuliarti NRP : 2314 106 010

Arteria Widya U. L. NRP : 2314 106 036

ABSTRAK

Asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Selama ini pemanfaatan Asbuton hanya sebagai campuran aspal panas dan aspal hangat, untuk campuran aspal dingin, untuk asbuton tile, untuk melapisi bendungan agar kedap air, sebagai block asbuton untuk trotoar dan lain-lain. Padahal bitumen dalam Asbuton dapat berpotensi di *cracking* menjadi hidrokarbon (heavy oil) dan dapat menjadi suatu bahan bakar cair yang dapat digunakan untuk memenuhi permintaan bahan bakar. Proses-proses yang telah dikembangkan diantaranya adalah ekstraksi menggunakan pelarut organik (kerosen, heksan, pertasol, dan lain-lain) dan yang terakhir adalah proses pemisahan menggunakan media air panas yang dikenal dengan *hot water process* yang masih dalam taraf pengembangan. Penelitian pemanfaatan bitumen dari asbuton

untuk bahan bakar, khususnya bahan bakar cair masih sangat sedikit. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari Asbuton dengan katalis berbasis zeolit. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu pirolisis dan rasio katalis dengan asbuton terhadap persentase konversi Asbuton. Presentase konversi Asbuton ditunjukkan dengan persentase yield masing-masing produk cair dan gas dengan penambahan katalis maupun tanpa katalis.

Penelitian ini menggunakan vacum pirolisis reaktor yang dioperasikan secara semi batch continue dengan *feed* asbuton sebesar 250 gram yang sebelumnya dianalisis kadar bitumen awalnya lalu dicampurkan pada ratio tertentu dengan katalis berbasis zeolit yang dikarakterisasi terlebih dahulu dengan metode BET, X-RD dan SEM. *Feed* asbuton dicampur dengan katalis sesuai perbandingan kemudian dimasukan ke dalam reaktor pirolisis. *Heater* dioperasikan sesuai dengan variable suhu pirolisis sebesar 250°C, 350°C, 400°C dan 500°C. Sedangkan zeolit heulandit sebagai katalis divariasi sebesar 2.5%, 5%, 7%, dan 10% dari berat *feed* asbuton, kemudian di vakum dengan menggunakan pompa vakum. Gas yang terbentuk akan dialirkan melalui kondensor yang dijaga suhunya pada 15°C. Gas yang terkondensasi (produk cair) akan tertampung dalam erlenmeyer, sedangkan gas yang tidak terkondensasi (produk gas) akan

ditampung dalam kantong gas. Kemudian %yield produk masing-masing dianalisa.

Hasil penelitian menunjukan bahwa metode pirolisis dapat digunakan untuk *cracking* bitumen yang terkandung dalam asbuton dengan kondisi terbaik untuk mendapatkan produk cair tanpa penambahan katalis sebesar 400°C dengan yield produk cair sebesar 48.692%. Zeolit alam dapat digunakan sebagai katalis untuk *cracking* bitumen dalam asbuton. Kenaikan persentase zeolit yang digunakan berbanding lurus dengan peningkatan yield produk cair. Yield produk cair tertinggi sebesar 84.442% diperoleh dalam kondisi suhu pirolisis 400°C dengan penambahan 10% katalis.

Kata Kunci : Asbuton, Bahan Bakar Cair, *Cracking*, katalitik pirolisis, zeolit

CATALYTIC PYROLYSIS PROCESS FOR BITUMEN CRACKING FROM ASBUTON WITH NATURAL ZEOLITE AS CATALYST

Advisor : Dr. Ir. Susianto, DEA

Prof. Dr. Ir Ali Altway, MS

Proposed By : Riskhany Yuliarti NRP : 2314 106 010

Arteria Widya U. L. NRP : 2314 106 036

ABSTRACT

Asbuton is a natural asphalt that was found in the Buton island, Southeast Sulawesi. Asbuton generally are solid phase and that created by naturally as a result of geological processes. At this time the usage of Asbuton are just as hot mix asphalt and asphalt warm, to cold mix asphalt, for asbuton tile, to coat the dam to be watertight, as asbuton block for pavement and etc. Whereas bitumen in Asbuton could be potentially cracked to hydrocarbons (heavy oil) and liquid fuel that can be used to meet the demand for fuel. The processes that have been developed include extraction using an organic solvent (kerosene, hexane, pertasol, and others) and the last is the separation process using hot water as a media which that we known as hot water process,

which is still in phase of development. Research utilization of bitumen from asbuton for fuel, particularly liquid fuel is still very little. So that needs to be perform research on catalytic pyrolysis process for cracking bitumen from Asbuton with zeolite-based catalyst. This research aimed to learn and describe the effect of pyrolysis temperature and the ratio of the catalyst with asbuton on Asbuton conversion percentage. Percentage conversion Asbuton yield expressed as a percentage of each liquid and gaseous products with the addition of a catalyst or without catalyst.

This research uses a vacuum pyrolysis reactor which operated in batch to feed asbuton of 250 grams of previously analyzed the levels of bitumen initially and then mixed on the specified ratio with a catalyst based on zeolite characterized first by the BET method, X-RD and SEM. Feed asbuton mixed with catalyze in accordance the desire ratio. After being mixed, asbuton and catalyze inserted into pyrolysis reactor. Then, heater set into desire temperature with operation temperature 250°C, 350°C, 400°C and 500°C. Zeolite Heulandit as catalyze that used on this process are 2.5%, 5%, 7%, and 10% and turned on the vacuum pump. Gas that formed from the process will be through the condenser with temperature 15°C. Gas that condensed (liquid product) will be collected in erlenmeyer, while uncondensed gas (gas product) will be collected in gas holder. After the pyrolysis process completed, yield every product will be analyzed.

From this research shown that pyrolysis method can be used to crack bitumen that contained in asbuton with best operating condition to get liquid product as much as possible by 48.692% without the addition of catalyze is using 400°C as pyrolysis temperature. Natural zeolite can be used as catalyze for this pyrolysis process. Increased the amount of catalyze that used will also increase the yield of liquid product. The biggest yield of liquid product by 84.442% reached by using 400°C as pyrolysis temperature with the addition of 10% zeolite as catalyze.

Key Words : Asbuton, Liquid Fuels, Cracking, Catalytic

Pyrolysis, zeolite

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami sampaikan ke hadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan berkah-Nya kami dapat menyelesaikan tugas Skripsi dengan judul:

“PROSES KATALITIK PIROLSIS UNTUK CRACKING BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM”

Tugas Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Juwari, S.T.,M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc selaku Kepala Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa yang telah banyak memberikan masukan bagi kami
3. Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA dan Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MS selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan bagi kami.
4. Ibu Siti Nurkhamidah, S.T.,MS.,Ph.D., Bapak Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D selaku dosen Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa

5. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Orangtua dan keluarga kami atas segala kasih sayang dan pengertian yang telah diberikan.
7. Teman-teman Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa serta rekan-rekan Lintas Jalur atas kebersamaannya.
8. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas Skripsi ini.

Kami menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini masih perlu penyempurnaan, oleh karena itu kami mengharap saran dan kritik yang membangun. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya di bidang teknik kimia dan aplikasi industri kimia. Terima kasih.

Surabaya, 28 Desember 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

Abstrak	v	
Kata Pengantar	xi	
Daftar Isi	xiii	
Daftar Gambar	xvi	
Daftar Tabel	xviii	
BAB I PENDAHULUAN		
I.1	Latar Belakang	1
I.2	Perumusan Masalah	8
I.3	Batasan Masalah	8
I.4	Tujuan Penelitian	9
I.5	Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA		
II.1	Aspal	10
II.2	Asbuton	12
II.3	Bitumen Aspal Buton	18
II.4	Pirolisis	22
II.5	Reaksi Pirolisis untuk <i>Cracking</i> Bitumen	24
II.6	Katalis	28
	II.6.1 Sifat Katalis	28
	II.6.2 Penggolongan Katalis	30
II.7	Katalis Zeolit	32

II.7.1	Jenis – Jenis Zeolit	34
II.7.2	Aktivasi Zeolit	36
II.8	Penelitian – Penelitian Konversi Bitumen yang Sudah Dilakukan	37
BAB III METODE PENELITIAN		
III.1	Garis Besar Penelitian	42
III.2	Langkah – Langkah Penelitian	45
III.2.1	Tahap Persiapan Bahan Baku	46
III.2.2	Tahap Aktivasi Katalis	47
III.2.3	Karakterisasi Katalis	47
III.2.4	Tahap Analisis Kadar Bitumen Awal	50
III.2.5	Tahap <i>Cracking</i> Bitumen dalam Asbuton	51
III.2.6	Analisa Data	53
III.3	Bahan yang Digunakan	54
III.4	Alat yang Digunakan	54
III.4.1	Peralatan Persiapan Bahan Baku	54
III.4.2	Peralatan Aktivasi Katalis	54
III.4.3	Peralatan Proses Ekstraksi Bitumen Menggunakan TCE	54
III.4.4	Peralatan Proses Pirolisis Bitumen dalam Asbuton	55
III.5	Variabel Penelitian	55
III.5.1	Kondisi yang ditetapkan	55
III.5.2	Variabel Masukan	55

III.5.3 Variabel Respon	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Analisa Karakteristik Katalis Zeolit Alam	57
IV.1.1 Karakterisasi Kritisasi Katalis (XRD)	57
IV.1.2 Karakterisasi Kritisasi Katalis (SEM-EDS)	60
IV.1.3 Karakterisasi Kritisasi Katalis (BET)	64
IV.2 Pengaruh Penambahan 2,5% Katalis Zeolit Dengan dan Tanpa Aktivasi Terhadap % Yield Produk Cair	68
IV.3 Pengaruh Suhu Pirolisis Tanpa Katalis Terhadap % Yield Produk	70
IV.4 Pengaruh Suhu Pirolisis dengan Penambahan Katalis Pada % Yield Produk Cair	73
IV.5 Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap % Yield Pada Suhu	77
BAB V KESIMPULAN	82
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR NOTASI	xviii
APPENDIKS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Kebutuhan Energi Primer Dunia	2
Gambar II.1	Zona sebaran endapan Aspal di Pulau Buton	13
Gambar II.2	Struktur Keempat Senyawa Penyusun Bitumen	20
Gambar II.3	Skema Reaksi Pirolisis untuk <i>Cracking</i> Bitumen	25
Gambar III.1	Langkah – langkah penelitian	43
Gambar III.2	<i>Flowchart</i> proses pirolisis dan analisis data	46
Gambar III.3	Skema Rangkaian Alat Ekstraktor Soklet	51
Gambar III.4	Skema Rangkaian Alat Pirolisis	53
Gambar IV.1	Spektrum Difraksi Sinar-X Katalis Zeolit Sebelum dan Sesudah Aktivasi	58
Gambar IV.2	Analisa SEM-EDS Katalis Zeolit Sesudah dan Sebelum Aktivasi	60
Gambar IV.3	Analisa SEM-EDX Katalis Zeolit Sebelum Aktivasi Dengan Perbesaran 490x	61
Gambar IV.4	Analisa SEM-EDX Katalis Zeolit Setelah Aktivasi Dengan Perbesaran 490x	63
Gambar IV.5	Reaksi Perubahan Ikatan Dalam Zeolit	67
Gambar IV.6	Pengaruh Penambahan 2,5% Katalis Zeolit dengan dan tanpa Aktivasi Terhadap % Yield Produk Cair	69
Gambar IV.7	Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Persen (%) Yield Tanpa Penambahan Katalis	71

Gambar IV.8	Pengaruh Penambahan Katalis Pada Tiap Suhu Pirolisis Terhadap Yield Produk Cair Pada Tiap Penambahan Katalis	74
Gambar IV.9	Pengaruh Penambahan Katalis Zeolit Alam Proses Pirolisis Bitumen Dalam Asbuton Pada Suhu Operasi	80

DAFTAR TABEL

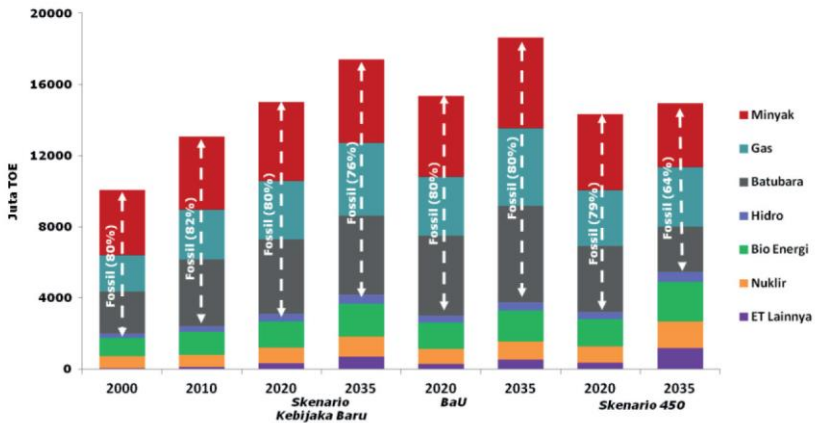
Tabel II.1	Perkiraan deposit asbuton di daerah Lawele dan sekitarnya	14
Tabel II.2	Komponen Kimia Aspal Kabungka dan Lawele	16
Tabel II.3	Sifat Fisik Aspal Asbuton dari Kabungka dan Lawele	17
Tabel II.4	Komposisi mineral asbuton Kabungka dan Lawele	18
Tabel II.5	Sifat – sifat senyawa penyusun bitumen aspal alam	21
Tabel II.6	Mekanisme pirolisis menurut suhu proses	26
Tabel II.7	Perbandingan elemen katalis heterogen dan homogen	31
Tabel II.8	Klasifikasi mineral zeolite	33
Tabel II.9	Penelitian – penelitian bitumen yang sudah dilakukan	37
Tabel IV.1	Berbagai Kandungan Dalam Katalis Zeolit Alam Sebelum Diaktivasi	62
Tabel IV.2	Berbagai Kandungan Dalam Katalis Zeolit Alam Setelah Diaktivasi	64
Tabel IV.3	Hasil Analisa BET Sebelum Diaktivasi	65
Tabel IV.4	Hasil Analisa BET Setelah Diaktivasi	65
Tabel IV.5	Suhu Pirolisis Terbaik Untuk Memperoleh Yield Cair Tertinggi Tiap Penambahan Jumlah Katalis	75

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat sehingga semakin meningkat pula kebutuhan energi yang dibutuhkan dalam bidang transportasi, industri, dan rumah tangga. Bensin (gasoline), minyak tanah (kerosene) maupun minyak solar (diesel oil) merupakan bahan bakar fosil yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Pemakaian bahan bakar tersebut terus meningkat tetapi ketersediaan minyak bumi merupakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui semakin berkurang. Hal ini mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai pengganti suplai energi berbasis minyak bumi. Menurut Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral pada periode tahun 2002 sampai dengan 2035, kebutuhan batubara mengalami peningkatan terbesar dibanding bahan bakar fosil lainnya dan mulai tahun 2020 mengambil alih peran minyak atau terbesar dalam pembaharuan energi primer.



Gambar I.1 Kebutuhan Energi Primer Dunia (World Energy Outlook, 2013)

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki cadangan bitumen (aspal) alam yang cukup besar di dunia, selain Amerika Serikat dan Perancis. Cadangan bitumen alam di Indonesia terdapat di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara yang dikenal sebagai aspal buton (asbuton). Cadangan asbuton diperkirakan mencapai 677 juta ton dan diperkirakan akan mampu mendukung untuk penyediaan aspal untuk infrastruktur jalan di Indonesia hingga 200 tahun ke depan. Pemanfaatan aspal dari asbuton sampai saat ini masih sangat rendah, yaitu terbatas sebagai campuran filler dari aspal minyak untuk pembangunan jalan, karena kandungan mineral asbuton terbesar adalah kapur.

Bitumen dari asbuton merupakan hidrokarbon yang terdiri atas asphaltene, resin, aromatik dan hidrokarbon jenuh. Komposisi hidrokarbon dalam bitumen asbuton memiliki potensi untuk dikonversikan menjadi bahan bakar alternatif selain minyak bumi. Kadar aspal yang terkandung dalam asbuton bervariasi antara 10 – 40%. Ini merupakan kadar aspal alam yang cukup besar dibandingkan dengan kadar aspal alam negara-negara lain seperti Amerika (12-15%) dan Prancis (6-10%). Ketersediaan asbuton yang sangat besar, asbuton memiliki potensi besar untuk dikembangkan dan dimanfaatkan menjadi salah satu sumber bahan bakar alternatif di Indonesia (Nasikin, 2013).

Saat ini penelitian yang terkait dengan asbuton terfokus pada pemisahan bitumen asbuton dari mineralnya. Proses-proses yang telah dikembangkan diantaranya adalah ekstraksi menggunakan pelarut organik (kerosen, heksan, pertasol, dan lain-lain) dan yang terakhir adalah proses pemisahan menggunakan media air panas yang dikenal dengan *hot water process* yang masih dalam taraf pengembangan. Penelitian pemanfaatan bitumen dari asbuton untuk bahan bakar, khususnya bahan bakar cair masih sangat sedikit. Pemanfaatan bitumen dari oil sand untuk penyediaan bahan bakar telah banyak dilakukan di beberapa negara seperti Kanada, Amerika Serikat.

Menurut Ma dan Li (2012) metode yang disarankan saat ini untuk *recovery* energi dari *oil sand* adalah ekstraksi air panas

(*hot water process*), ekstraksi air dingin (*cold water process*), ekstraksi superkritis, ekstraksi pelarut dan pirolisis. *Hot water process* digunakan di Kanada untuk *recovery* bitumen komersial dari *oil sand*.

Pengfe Liu et al (2014) mempelajari tentang thermogravimetric dari karakteristik dan kinetika pirolisis asbuton. Suhu akhir pirolisis yang digunakan sebesar 550°C. Disebutkan dalam penelitian ini pirolisis merupakan metode yang efektif digunakan untuk memisahkan dan *recovery* bitumen dari batuan mineralnya (*sandstone host*).

Dalam penelitian Ma dan Li (2012) dilakukan proses pirolisis dari hasil ekstraksi asbuton, disebutkan kandungan bitumen dalam asbuton dalam penelitian ini mencapai 30%. Percobaan dilakukan dengan suhu akhir pirolisis 600°C, berdasarkan hasil penelitian pada suhu 380-480°C menghasilkan yield produk *liquid* relatif baik, gas, dan semi-coke. Sedangkan pada suhu 480-500 °C kandungan produk *liquid* menjadi konstan, jadi pada penelitian ini suhu dikontrol antara 480–500 °C. Distilasi pada produk *liquid* menunjukkan fraksi dengan titik didih di bawah 180°C adalah fraksi bensin, fraksi diesel berkisar dari 180°C sampai 360°C, dan fraksi yang lebih tinggi dari 360°C adalah minyak berat. Hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa fraksi utama dalam produk *liquid* dari pirolisis adalah diesel, sekitar 52%. Yield produk gas dari pirolisis kurang dari

5% dengan komposisi gas dengan % volume masing-masing CH₄ 23,31%, H₂ 20,21%, CO₂ 16,05%, H₂S 7,48%, CO 3,02% dan C₂ - C₄ 27,94%.

Yingxian dan Da (2011) melakukan penelitian mengenai reaksi *thermal hydrocracking* dan *catalitic hydrocracking* asphaltene Athabasca bitumen dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ pada 430 °C. Dalam penelitian ini disebutkan residu bitumen mengandung sejumlah besar makromolekul seperti asphaltenes. Kandungan yang tinggi senyawa hetero-atom, logam, karbon dan senyawa polar dalam asphaltenes mengganggu upgrade dan konversi bitumen dengan adanya pembentukan *coke* dan deaktivasi katalis. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa dibandingkan dengan *thermal hydrocracking*, *catalitic hydrocracking* meningkatkan produksi produk cair dan menghambat terbentuknya *coke* secara efektif.

Junaid et al (2008) meneliti tentang *cracking* Athabasca bitumen dengan menggunakan katalis zeolit alam jenis chabazite dan klipnotilolit. Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah zeolit alam dapat memecah molekul berat terutama asphaltenes dan *light* hidrokarbon seperti pentana dan heksana dapat terekstrak.

Penelitian mengenai proses katalitik pirolisis untuk cracking bitumen dari asbuton dengan katalis zeolit sudah pernah dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa

Institute Teknologi Sepuluh Nopember oleh Aminati dan Nugroho (2015). Adapun variabel yang digunakan adalah suhu pirolisis 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan katalis zeolit divariasi sebanyak 1%, 3% dan 5% dari berat sampel asbuton. Hasil yang didapatkan suhu pirolisis yang semakin tinggi menyebabkan produksi produk gas lebih banyak. Tanpa penambahan katalis pada suhu 400°C produk gas yang didapat lebih tinggi dari produk cairnya dengan masing-masing persen (%) yieldnya 9,05% dan 11,95%. Persen (%) yield tertinggi produk cair diperoleh sebesar 9,58% pada suhu pirolisis 350°C. Dengan penambahan katalis persen yield tertinggi produk cair yang diperoleh sebesar 11,78% dengan penambahan katalis 5% pada suhu 400°C. Persen produk cair tertinggi berada pada suhu pirolisis 400°C dengan penambahan 5% katalis yaitu sebesar 65,31%.

Penelitian berikutnya mengenai proses katalitik pirolisis untuk cracking bitumen dari asbuton dengan katalis zeolit yang dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Institute Teknologi Sepuluh Nopember oleh Pertami dan Nugroho (2016). Adapun variabel yang digunakan adalah suhu pirolisis 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C dan katalis zeolit divariasi sebanyak 5%, 7% dan 9% dari berat sampel asbuton. Hasil yang didapatkan tanpa penambahan katalis pada suhu 450°C dengan persentase yield produk cair sebesar 46,154%. Dengan

penambahan katalis pada suhu 450°C didapatkan yield produk cair tertinggi dengan penambahan 9% katalis sebesar 53,977%. Sedangkan penambahan katalis akan meningkatkan yield produk gas hingga dengan penambahan katalis sebanyak 5%. Apabila jumlah katalis ditambah, jumlah gas yang dihasilkan cenderung konstan dengan rata-rata 44,26%. Yield produk cair tertinggi sebesar 61,531% diperoleh dalam kondisi suhu pirolisis 350°C dengan penambahan 9% katalis.

Studi mengenai proses pirolisis secara langsung tanpa proses ekstraksi untuk *cracking* bitumen dari asbuton masih sangat terbatas, sehingga data-data yang diperlukan untuk pengembangan proses pirolisis bitumen dari asbuton masih sangat sedikit. Oleh karena itu penelitian tentang proses pirolisis bitumen dari asbuton secara langsung dari batuannya masih sangat diperlukan. Dalam penelitian ini akan dilakukan proses pirolisis bitumen dari asbuton secara langsung dari batuannya dengan menggunakan katalis zeolite alam dalam reaktor pirolisis secara semi batch continue pada kondisi vakum. Dalam penelitian akan dilakukan variasi kondisi operasi yang meliputi temperatur pirolisis dan jumlah katalis untuk menghasilkan produk bahan bakar hidrokarbon cair.

I.2 Perumusan Masalah

Dari berbagai latar belakang dan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tentang *cracking* bitumen dengan menggunakan metode pirolisis menghasilkan yield produk cair terbaiknya yaitu sebesar 65,31% dari massa bitumen yang terkandung dalam asbuton. Hasil penelitian ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut dengan variasi variabel yaitu temperatur dan komposisi katalis untuk mengetahui %yield produk cair yang lebih tinggi. Maka dari itu penelitian ini akan membahas tentang peranan katalis zeolit alam dalam proses pirolisis bitumen dari asbuton menjadi bahan bakar cair dan untuk mengetahui pengaruh parameter kondisi operasi (suhu dan ratio katalis terhadap asbuton) pada proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton menjadi bahan bakar cair menggunakan katalis zeolit terhadap % yield produk.

I.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada hal – hal berikut :

1. Asbuton yang digunakan adalah asbuton dari daerah Lawele.
2. Sampel batuan Asbuton ukurannya diseragamkan sebesar 20 mesh.

3. Reaktor pirolisis yang digunakan adalah *reactor semi batch continue* yang dioperasikan secara vakum.
4. Katalis yang digunakan adalah zeolite alam dari daerah Wonosari Malang-Jawa Timur.

I.4 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari proses pirolisis bitumen dari asbuton menjadi bahan bakar cair dalam reaktor batch dengan menggunakan katalis zeolit alam.
2. Mempelajari pengaruh parameter operasi (suhu dan ratio katalis banding asbuton) pada proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dengan menggunakan katalis zeolit alam terhadap % yield produk.

I.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui keefektifan parameter kondisi operasi (suhu dan ratio katalis banding asbuton) proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dan mengetahui keefektifan penggunaan katalis zeolit terhadap persen (%) *yield* produk.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Aspal

Aspal menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM) adalah suatu material yang berwarna coklat tua sampai hitam, padat atau semi padat yang terdiri dari bitumen-bitumen yang terdapat di alam atau diperoleh dari residu minyak bumi. Komposisi utama dari aspal sendiri merupakan hidrokarbon dengan atom $C > 40$. Di alam, aspal dapat diperoleh secara alami maupun dari hasil pengolahan minyak bumi.

Bitumen sendiri menurut ASTM adalah campuran hidrokarbon yang berasal dari alam, yang bercampur dengan turunan-turunan non logam, seperti gas, liquid, semi padatan atau padatan yang larut dalam karbon disulfid. Aspal dalam kehidupan memiliki banyak kegunaan diantaranya digunakan sebagai pelapis dalam pembuatan jalan, *coating* atap, dan sebagai *waterproofing* pada peralatan industri. Jenis aspal yang telah umum dikenal antara lain:

1. Aspal Cair : aspal keras yang dicampur dengan pelarut.
2. Aspal Emulsi : aspal yang terdiri dari butir-butir aspal halus dilarutkan dalam air lebih encer dari aspal cair.

3. Aspal Keras : aspal yang didapat dari penyulingan minyak bumi dengan kadar peragian rendah (*Napthan base crude oil*) yaitu lebih dari 2% berat.
4. Aspal Granular : aspal yang ada di alam dalam bentuk bahan tambang.

Fungsi aspal dalam campuran aspal beton, pertama sebagai bahan pelapis dan perekat agregat, kedua sebagai lapis resap pengikat (*prime coat*) yang merupakan lapis tipis aspal cair yang diletakkan di atas lapisan pondasi sebelum lapis berikutnya, ketiga lapis pengikat (*tack coat*) adalah lapis aspal cair yang diletakkan di atas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi sebagai pengikat diantara keduanya, dan sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, halus, dan *filler*.

Secara umum aspal dibagi menjadi dua kelompok yaitu aspal alam dan aspal buatan.

a. Aspal Alam

Aspal ini langsung terdapat di alam, memperolehnya tanpa proses pemasakan. Di Indonesia jenis aspal ini terdapat di Pulau Buton yang diistilahkan sebagai Asbuton (Aspal Batu Buton). Aspal ini merupakan campuran antara bitumen dan mineral dari ukuran debu sampai ukuran pasir yang sebagian besar merupakan mineral kapur. Sifat mekanis Asbuton menunjukkan pada temperatur $<30^{\circ}\text{C}$ rapuh dipukul pecah, pada

temperatur 30°C - 60°C menjadi plastis dan apabila dipukul akan menjadi lempeng (pipih), selanjutnya pada temperatur 100 °C - 150 °C akan menjadi cair (Departemen Pekerjaan Umum,2010).

b. Aspal Minyak

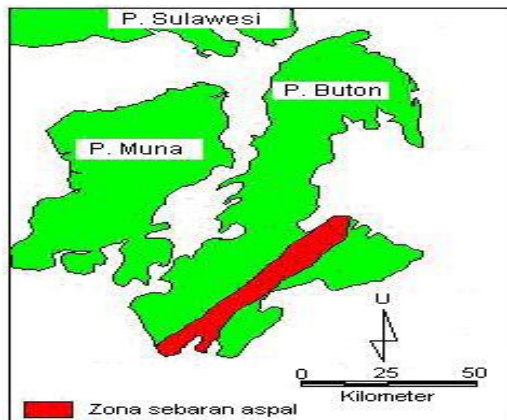
Jenis aspal ini dibuat dari minyak bumi sehingga dikenal sebagai aspal minyak, selain itu aspal ini harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sehingga sering juga disebut aspal panas. Bahan baku minyak bumi yang baik untuk pembuatan aspal adalah minyak bumi yang banyak mengandung parafin. Untuk bahan aspal paraffin kurang disukai karena akan mengakibatkan aspal bersifat getas, mudah terbakar dan memiliki daya lekat yang buruk dengan agregat. Oleh karena itu untuk memperoleh aspal dengan mutu baik dipilih bahan baku minyak bumi dengan kadar parafin rendah. Berdasarkan nilai penetrasi atau kekerasan aspal, AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) membagi aspal kedalam lima kelompok jenis aspal, yaitu aspal 40-50, aspal 60-70, aspal 85-100, aspal 120-150, dan aspal 200-300 (Departemen Pekerjaan Umum,2010).

II.2 Asbuton

Asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses

terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang porous.

Asbuton (Aspal Batu Buton) yang ditemukan kira-kira 70 tahun yang lalu dan merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia. Deposit asbuton tersebar dari Teluk Lawele sepanjang 75 km dengan lebar 20 km di tambah wilayah Enreke yang termasuk wilayah Kabupaten Muna. Dari eksplorasi yang dilakukan Alberta Research Council di daerah Lawele tahun 1989 pada 132 titik pengeboran diperoleh hasil bahwa ketebalan asbuton berkisar antara 9 meter sampai 45 meter atau ketebalan rata- rata 29,88 meter dengan tebal tanah penutup 0 – 17 meter pada luas daerah pengaruh asbuton 1.527.343,5 m² (Departemen Pekerjaan Umum, 2006)



Gambar II.1 Zona sebaran endapan Aspal di Pulau Buton
(Widhiyatna, 2012)

Tabel II.1. Perkiraan Deposit Asbuton Di Daerah Lawele dan Sekitarnya

No.	Lokasi	Luas (m²)	Tebal (m)	Kadar aspal (%)	Deposit (juta ton)
1.	Batuawu	550.000	76,1	20 – 40	60,69
2.	Mempenga	280.000	72	20 – 30	29,232
3.	Langunturu	420.000	61	20 – 25	37,149
4.	Kabukubuku	570.000	50	20 – 35	41,325
5.	Wangkaburu	460.000	62,8	20 - 35	41,888
6.	Siantopina	5000.000	25	Belum diketahui	181,25
7.	Ulala	1.500.000	21,65	Belum diketahui	47,089

(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Terdapat beberapa pendapat dari para ahli geologi mengenai terbentuknya asbuton. Sebagian besar berpendapat bahwa terbentuknya asbuton berawal dari adanya minyak bumi yang terdistilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian yang ringan dari minyak bumi menguap dan residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada disekitarnya melalui patahan dan rekahan (Qomar, 1996).

Pendapat lainnya, asbuton terbentuk akibat dari proses destilasi alam yang melalui batuan kapur, maka asbuton tersusun dari bitumen (aspal murni/*asphaltene*) dengan mineral yang tercampur secara alami, dimana mineral-mineral itu sebagian besar terdiri dari kapur yang mengakibatkan asbuton bersifat higroskopis dan membawa dampak kurang baik terhadap konstruksi jalan (dimana kandungan air maksimum 10% dalam konstruksi jalan) (Rumanto, 1989).

Penggunaan asbuton adalah sebagai berikut :

1. Untuk campuran aspal panas dan aspal hangat yaitu menggunakan asbuton butir.
2. Untuk campuran aspal dingin dengan asbuton butir dan aspal emulsi.
3. Untuk *asbuton tile*.
4. Untuk melapisi bendungan agar kedap air.
5. Sebagai *block asbuton* untuk trotoar dan lain-lain.
6. Cocok digunakan untuk konstruksi berat.

Tabel II.2 Komponen Kimia Aspal Kabungka dan Lawele

Komponen Kimia	Lawele	Kabungka
Nitrogen (N), %	26	29,04
<i>Acidaffins</i> (A ₁), %	9	6.60
<i>Acidaffins</i> (A ₂), %	12	8.43
<i>Paraffine</i> (P), %	11	8.86
Parameter <i>Maltene</i>	1	2.06
Nitrogen/ <i>Paraffine</i> , N/P	2	3.28
Kandungan <i>Asphaltene</i> , %	39	46.92

(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Asbuton memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung dari daerah mana asbuton tersebut diperoleh. Sampai saat ini dikenal ada dua daerah penambangan asbuton yang banyak dimanfaatkan hasilnya, yaitu didaerah kabungka dan lawele. Menurut Afandi, perbedaan ini disebabkan oleh sifat bitumen yang ada didalamnya, dimana bitumen pada deposit Kabungka mempunyai nilai penetrasi yang keras < 10 dmm dibanding dengan aspal yang berasal dari Lawele dengan nilai penetrasi bisa mencapai 30 dmm bahkan lebih. Sifat yang dimiliki dari kedua asbuton tersebut berbeda.

Berikut adalah data mengenai sifat fisik dan komponen kimia aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele.

Tabel II.3 Sifat Fisik Aspal Asbuton dari Kabungka dan Lawele

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Kabungka	Lawele
Kadar aspal, %	20	30,08
Penetrasi, 25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm	4	36
Titik lembek, ⁰ C	101	59
Daktilitas, 25 ⁰ C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	-	99,6
Titik nyala, ⁰ C	-	198
Berat jenis	1,046	1,037
Penurunan berat (TFOT), 163 ⁰ C, 5 jam	-	0,31
Penetrasi setelah TFOT, % asli	-	94
Titik lembek setelah TFOT, ⁰ C	-	62
Daktilitas setelah TFOT, cm	-	>140

(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Berikut adalah data komposisi mineral yang terkandung dalam asbuton dari Kabungka dan Lawele.

Tabel II.4 Komposisi Mineral Asbuton Kabungka dan Lawele

Senyawa	Hasil pengujian	
	Kabungka (%)	Lawele (%)
CaCO ₃	86,66	72,9
MgCO ₃	1,43	1,28
CaSO ₄	1,11	1,94
CaS	0,36	0,52
H ₂ O	0,99	2,94
SiO ₂	5,64	17,06
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1,52	2,31
Residu	0,96	1,05

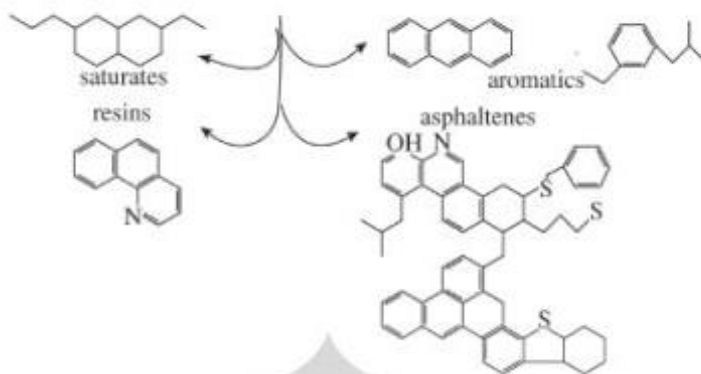
(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

II.3 Bitumen Aspal Buton

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal akan bersifat padat pada suhu ruang dan bersifat cair bila dipanaskan. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh dan tak jenuh, alifatik dan aromatic

yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Atom – atom selain hidrogen dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hydrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen dan nitrogen, serta sejumlah renik besi, nikel, dan vanadium. Senyawa-senyawa ini sering dikelaskan atas aspalten (yang massa molekulnya kecil) dan malten (yang massa molekulnya besar). Biasanya aspal mengandung 5 sampai 25% aspalten. Sebagian besar senyawa di aspal adalah senyawa polar.

Bitumen yang terdapat pada Aspal Buton pada dasarnya disusun dari 4 komponen utama yaitu hidrokarbon jenuh



(saturates), aromatik, resin, dan aspal murni (asphaltenes) (Nuryanto,2009). Masing – masing komponen memiliki struktur dan komposisi kimia yang berbeda, dan menentukan sifat rheologi dari bitumen. Bitumen merupakan senyawa yang kompleks utamanya yang disusun oleh hidrokarbon dan atom – atom N, S, dan O dalam jumlah yang kecil, juga beberapa logam seperti Vanadium, Ni, Fe, Ca, dalam bentuk garam organik dan oksidanya. Berikut ini gambar struktur 4 komponen tersebut :

Gambar II.2 Struktur Keempat Senyawa Penyusun Bitumen
(Fauzi, 2012)

Asphaltenes dan resin yang bersifat polar dapat bercampur membentuk koloid atau micelle dan menyebar dalam

aromatik dan hidokarbon jenuh. Dengan demikian, maka bitumen adalah suatu campuran cairan kental senyawa organik, berwarna hitam, lengket, larut dalam carbon disulfide, dan disusun utamanya oleh polycyclic aromatic hydrocarbons yang sangat kompak. (Nuryanto, 2009). Berikut sifat – sifat dari senyawa penyusun bitumen aspal alam.

Tabel II.5 Sifat – Sifat Senyawa Penyusun Bitumen Aspal Alam

<i>Asphaltene</i>	Resin	Aromatik	Hidrokarbon Jenuh
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sangat polar ➤ Aromatik kompleks ➤ Berat molekul 1000-100000 ➤ Semakin tinggi asphaltenes, maka bitumen semakin keras, kental, tinggi titik lembeknya, dan semakin rendah harga penetrasinya ➤ Berwarna 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Memiliki sifat rekat yang kuat ➤ Berat molekul 500-50000 ➤ Sebagai dispersing agent atau peptizer dari asphaltenes ➤ Tersusun oleh C dan H dan sedikit O, S, dan N ➤ Berwarna coklat tua 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bersifat non-polar ➤ Berat molekul 300-2000 ➤ Merupakan 40-65% dari total bitumen ➤ Berwarna coklat tua ➤ Berwujud cairan kental 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terdiri dari campuran hidrokarbon lurus, bercabang, alkil naphtene dan aromatik ➤ Bersifat non-polar ➤ Berat molekul 300-2000 ➤ Merupakan 5-20% dari total

hitam/coklat	➤ Berwujud solid atau semi solid		bitumen ➤ Berwujud cairan kental
--------------	----------------------------------	--	-------------------------------------

Sumber: (Nuryanto, 2009)

II.4 Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata Pyro (Fire/Api) dan Lyo (Loosening/Pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Jadi pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert (Awalludin, 2008).

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi suhu tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan, baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis digunakan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah kering (Fatimah, 2004).

Paris et al (2005) mengatakan bahwa pirolisis merupakan proses pengeringan dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Pada umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun, keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya.

Menurut Goyal dkk (2006), proses pirolisis secara umum dikategorikan menjadi beberapa tipe, yaitu :

1. Pirolisis Lambat (Slow Pyrolysis)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan yang rata – rata lambat. Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

2. Pirolisis Cepat (Fast Pyrolysis)

Pirolisis cepat merupakan suatu proses pirolisis dengan peningkatan kecepatan kenaikan temperatur, pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,2 – 2 detik, suhu 400 – 600°C.

3. Pirolisis Kilat (Flash Pyrolysis)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Flash pyrolysis membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 – 250 μm .

II.5 Reaksi Pirolisis untuk *Cracking* Bitumen

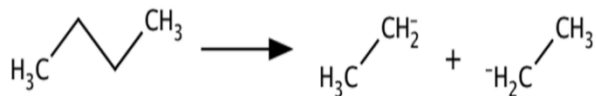
Reaksi yang terjadi selama proses pirolisis untuk *cracking* bitumen adalah sebagai berikut :

1. Reaksi Aromatisasi

Reaksi reversibel pertukaran aromatik ion H dan H terikat atom C tersier.

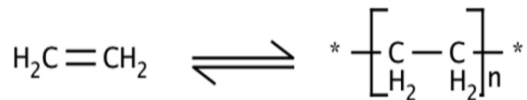
2. Dealkilasi

Reaksi ireversibel pertukaran H melalui reaksi radikal yang dapat dilanjutkan sebagai reaksi berantai yang mempengaruhi beberapa rantai H dalam satu atau lebih molekul.



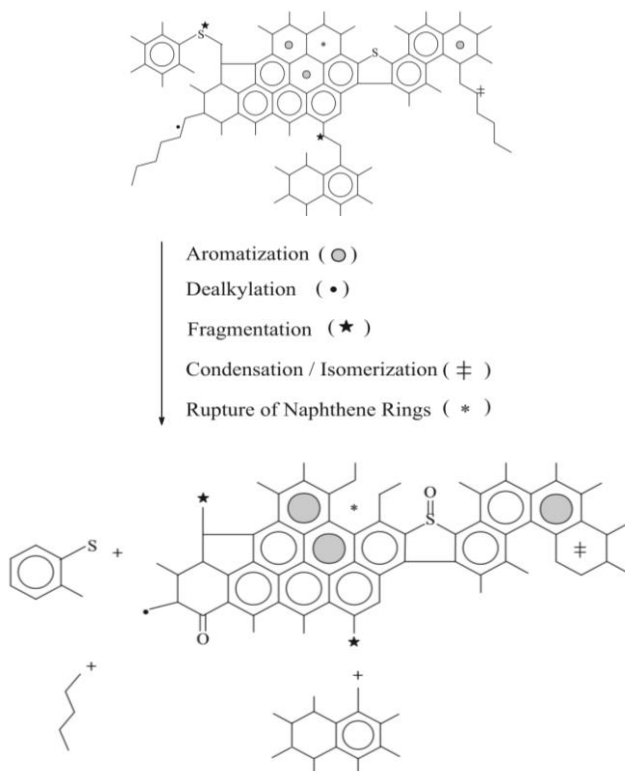
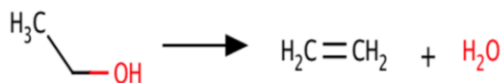
3. Fragmentasi

Fragmentasi mendominasi pada suhu di atas 300 °C. Ini melibatkan depolimerisasi dari bitumen.



4. Isomerasi

Reaksi reversible pertukaran organik H terikat O, N, atau S dalam kelompok fungsional dengan H₂O.



Gambar II.3 Skema Reaksi Pirolisis untuk *Cracking* Bitumen
 (Siddiqui, 2010)

Tabel II.6 Mekanisme Pirolisis Menurut Suhu Proses

No.	Suhu (°C)	Mekanisme
1.	100 – 120	Pemisahan padatan dan air, tidak ada dekomposisi senyawa
2.	250	Dimana tanpa oksigen terjadi desulfurisasi, bahan rusak, pemisahan struktur air dan CO ₂
3.	> 250	Pirolisis polimer, hidrogen sulfida mulai terpisah
4.	340	Senyawa alifatik mulai terpisah, metana dan hidrokarbon lain terisolasi
5.	380	Karbonasi
6.	400	Senyawa nitrogen karbon oksigen mulai terdekomposisi
7.	400 – 420	Bitumen menjadi minyak
8.	600	Dimana bitumen ter-cracking menjadi bahan tahan panas (fase gas, hidrokarbon rantai pendek, grafit)
9.	> 600	Pembentukan aromatik olefin

(Wang dan Qing, 2011)

Sedangkan reaksi yang terjadi pada proses katalitik pirolisis antara lain :

1. Cracking

$$\text{R1}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R2} \longrightarrow \text{R1}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{R2}$$
2. Dekarbonilasi

$$\text{R}-\text{C}(=\text{O})\text{H} \longrightarrow \text{R}-\text{H} + \text{C}\equiv\text{O}^+$$
3. Dekarboksilasi

$$\text{R}-\text{C}(=\text{O})\text{OH} \longrightarrow \text{R}-\text{H} + \text{O}=\text{C}=\text{O}$$
4. Hidrocracking

$$\text{R1}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R2} + \text{H}-\text{H} \longrightarrow \text{R1}-\text{CH}_3 + \text{H}_3\text{C}-\text{R2}$$
5. Hidrooksigenasi

$$\text{R}-\text{OH} + \text{H}-\text{H} \longrightarrow \text{R}-\text{H} + \text{H}_2\text{O}$$
6. Hidrogenasi

$$\text{R1}-\text{CH}=\text{CH}-\text{R2} + \text{H}-\text{H} \longrightarrow \text{R1}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R2} + \text{H}_2\text{O}$$

(Dickerson dan Soria, 2013)

II.6 Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan

berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Dalam penurunan energi aktivasi ini, maka energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga terjadinya reaksi berjalan cepat (Levenspiel, 1999).

II.6.1 Sifat Katalis

Katalis pada umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Leach, 1983):

1. Selektifitas

Definisi selektifitas adalah daya produksi atau kemampuan katalis dalam menghasilkan produk sesuai dengan yang dikehendaki. Hal ini terjadi karena suatu zat yang berperan dalam suatu proses dapat juga menjadi penghambat pada proses lainnya, sehingga perlu diteliti setiap bagiannya dengan katalis.

2. Stabilitas

Makna stabil ini menunjukkan kemampuan menghadapi senyawa toksik yang mungkin dapat merusak kinerja dari katalis itu sendiri

3. Umur

Umur katalis menunjukkan rentang waktu bagi katalis untuk bertahan pada level yang mencukupi sesuai kinerja katalis yang diinginkan

4. Aktifitas

Suatu katalis memiliki keaktifan masing – masing yang berbeda dalam mengubah bahan baku menjadi produk. Keaktifan ini didapat dari kombinasi bahan kimia dan bahan mineralogi, sehingga dapat diketahui katalis tersebut aktif dalam melakukan proses katalis disertai dengan produk baru yang diinginkan.

5. Kekuatan mekanik

Kekuatan mekanik merupakan suatu kondisi yang harus dimiliki katalis sehingga bila proses menghendaki tekanan dan temperatur tinggi katalis itu dapat digunakan.

6. Kemudahan regenerasi

Sifat mudah diregenerasi harus dimiliki oleh katalis sehingga pada saat katalis dioperasikan gangguan yang terjadi dapat diminimumkan.

II.6.2 Penggolongan Katalis

Secara umum ada 2 jenis katalis (Levenspiel, 1999):

1. Katalis alamiah / biologis yang bekerja pada suhu ruang dalam sistem biokimia makhluk hidup, yang lazim disebut enzim. Enzim adalah molekul-molekul protein ukuran koloid yang berada di antara ranah homogen molekuler dan heterogen makroskopik. Biasanya enzim merupakan katalis yang sangat efisien dan selektif.

2. Katalis buatan umumnya bekerja pada suhu tinggi atau untuk sintesa kimia, yang dikenal dengan nama katalis. Berdasarkan fasa dari sistem yang bereaksi, katalis dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen (umumnya padat).

- Katalis heterogen

Katalis yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis jenis ini memiliki pusat aktif yang tidak seragam dan tidak semua bagian permukaan padatnya berfungsi sebagai pusat aktif. Pusat aktif katalis heterogen berada pada permukaan pori-pori padatan. Katalis jenis ini berfungsi untuk melakukan proses rengkahan hidrokarbon.

- Katalis homogen

Katalis yang berfasa sama dengan reaktan. Katalis ini memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi karena setiap molekul katalis bersifat aktif sebagai katalis yang tidak mudah teracuni oleh adanya sedikit kotoran.

Berikut ini adalah tabel perbandingan elemen katalis heterogen dan homogen, yaitu:

Tabel II.7 Perbandingan Elemen Katalis Heterogen dan Homogen

Elemen katalis	Homogen	Heterogen
Pusat aktivitas	Semua atom memiliki reaktivitas	Hanya atom – atom pada permukaan pertikel
Konsentrasi yang dibutuhkan	Rendah	Tinggi
Selektifitas	Tinggi	Rendah
Sifat difusi	Secara praktiknya tidak ada (kinetika yang mengendalikan jalannya reaksi)	Ada (perpindahan massa yang mempengaruhi jalannya reaksi)
Suhu reaksi	50 – 200 °C	> 250 °C
Penggunaan	Spesifik	Luas
Struktur/stokiometri	Mudah ditentukan	Sulit ditentukan
Kemungkinan modifikasi	Tinggi	Rendah
Daya tahan suhu	Rendah	Tinggi
Teknik pemisahan	Destilasi, ekstraksi	Suspensi, filtrasi

(James. T. Richardson, 1989)

II.7 Katalis Zeolit

Zeolit menurut *J.V Smith* pada tahun 1984 adalah mineral dengan struktur kristal alumina silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta

molekul air. Pertama kali zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineralogi asal Swedia bernama *Axel Frederick Cronstedt* pada tahun 1756. Mineral yang ditemukan akan dengan cepat melepaskan air bila dipanaskan dan seolah-olah mendidih. Sehingga mineral alam ini dinamakan zeolit yang dalam bahasa Yunani berarti batu didih (*zeo: boil* dan *lythe : stone*).

Komposisi kimia dan sifat dari zeolit alam ini banyak dipengaruhi oleh kondisi hidrotermal lingkungan sekitar seperti temperatur, tekanan uap dan komposisi air tanah di lokasi tempat pembentukan zeolit alam. Maka tidak mengherankan apabila ditemukan zeolit alam yang berbeda komposisi kimia yang dengan zeolit alam dari lokasi lain meskipun warna dan teksturnya sama, sehingga akan menimbulkan beragam jenis zeolit alam yang terbentuk. **Tabel II.8** menunjukkan klasifikasi mineral zeolit alam lengkap dengan rumus kimia.

Secara umum, zeolit berfungsi sebagai katalis padatan memiliki beberapa karakterisasi, antara lain:

- Mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi
- Dapat memisahkan atau mereaksikan produk dan reaktan
- Luas permukaan yang besar, memiliki dimensi pori molekuler

- Adanya kemungkinan melakukan *preactivation* molekul ketika pori-pori oleh medan listrik kuat dan kekangan molekul

Tabel II.8 Klasifikasi Mineral Zeolit

Zeolit	Rumus Kimia
Grup Analsim	
Analsim	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Wairakit	$\text{Ca}_8[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Grup Natrolit	
Natrolit	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Thomsonit	$\text{Na}_{16} \text{Ca}_8 [\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Group Heulandit	
Heulandit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Klinoptilolit	$\text{Na}_{26}[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Group Filipsit	
Filipsit	$\text{K}_2\text{Ca}_{15}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Zeolit Na-P-1	$\text{Na}_8[\text{Al}_{31}\text{SiO}_{16}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Group Mordenit	
Mordenit	$\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$\text{NaCa}_{0,5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Group Kabasit	
Kabasit	$\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Zeolit L	$\text{K}_6\text{Na}_3[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 21\text{H}_2\text{O}$
Group Faujasit	
Faujasit	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}[\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}] \cdot 235\text{H}_2\text{O}$
Zeolit A	$\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Group Laumontit	
Laumontit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$

Group Pentasil

ZSM -5

$\text{Na}_n[\text{Al}_n\text{Si}_{96}\text{O}_{192}] 16\text{H}_2\text{O}$

Group Zeotype

$\text{AlPO}_4\text{-5}$

$[\text{Al}_{12}\text{P}_{12}\text{O}_{48}] (\text{C}_3\text{H}_7)_4 \text{NOH } q \text{ H}_2\text{O}$

(Togar, 2012)

II.7.1 Jenis – Jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis (Rodhie, 2006).

a. Zeolit alam

Zeolit alam merupakan mineral yang terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi). Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimenpiroklasik berbutir halus. Jenis zeolit di alam terdiri dari hampir 50 spesies, antara lain zeolit Klinoptilolit, Analsim, Kabasit, Erionit, Faujasit, Ferrierit, dan Heulandit. Pada proses pembentukannya, mineral zeolit yang terbentuk lebih dahulu adalah Klinoptilolit dan Filupsit yang merupakan mineral penurun bagi mineral zeolit yang lain. Di Indonesia jenis zeolit yang terbesar adalah Klinoptilolit dan Modenit.

Zeolit alam banyak ditemukan di India, Siprus, Jerman, dan Amerika Serikat, sedangkan daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan zeolit sangat besar dan

berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung.

b. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis merupakan hasil rekayasa manusia melalui proses kimia yang dibuat secara laboratorium ataupun dalam skala industri dan memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si. Oleh sebab itu, zeolit sintesis dikelompokkan menjadi tiga jenis, berdasarkan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit, yaitu:

- Zeolit Si

Zeolit ini sama sekali tidak mengandung sisi kation (Al), bersifat sangat hidrofilik-hidrofobik, sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air.

- Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini kaya Al, dan memiliki pori-pori, komposisi serta saluran rongga optimum, sehingga memiliki nilai ekonomi tinggi karena sangat efektif untuk proses pemisahan atau pemurnian dalam skala besar.

- Zeolit dengan kadar Si tinggi

Sifat zeolit jenis ini sangat hidropilik dan akan menyerap molekul yang tidak polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

II.7.2 Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolite alam dapat dilakukan secara fisik maupun kimiawi. Secara fisik, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300°C–400°C (Hardono, 1997). Aktivasi secara kimiawi dilakukan dengan pencucian zeolite menggunakan aquades atau asam anorganik, seperti larutan HCl, larutan NaOH, larutan NaCl jenuh dan larutan NH₄OH untuk menghilangkan oksida pengotor yang menutupi permukaan pori, meningkatkan rasio Si/Al, dan menguatkan struktur di dalam katalis zeolit alam. Metode aktivasi ini digunakan metode pertukaran ion. Kemampuan zeolite sebagai penukar ion tergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolite. Banyaknya kation tukar pada zeolite ditentukan oleh banyaknya kation Si⁴⁺ yang diganti oleh kation lain yang bervalensi tiga atau lima (Atmadiputri, 2010). Pada zeolite alam Si⁴⁺ biasanya digantikan oleh kation Al³⁺ sehingga kapasitas tukar kation ditentukan oleh perbandingan Si terhadap Al. Kation tukar pada zeolite dapat dipertukarkan dengan kation lain dari logam alkali atau alkali tanah yang lain

karena kation tukar tidak terikat dalam rangka zeolite oleh empat atom oksigen seperti Si^{4+} dan Al^{3+} .

II.8 Penelitian – Penelitian Konversi Bitumen yang Sudah Dilakukan

Pada tahun – tahun awal, tidak ada penelitian yang berfokus secara menyeluruh pada pembakaran bitumen sebagai proses pemulihan, sebagian besar fokus pada potensi untuk meningkatkan bitumen untuk bahan bakar API yang lebih tinggi dengan *thermal cracking*. Dari sekitar 1971 dan seterusnya, studi *thermal cracking* bitumen masih difokuskan terutama pada penggunaan pirolisis untuk meningkatkan bitumen sebagai nilai tambah produk seperti bahan bakar transportasi.

Tabel II.9 Penelitian – Penelitian Bitumen yang Sudah Dilakukan

No.	Penulis	Percobaan	Hasil
1.	Phillips dan Haidar, 1984	<i>Thermal cracking</i> bitumen dengan dan tanpa <i>oil sands</i> pada 360, 400 dan 420 °C.	Produk yang dihasilkan adalah <i>coke</i> , aspal, minyak berat, minyak ringan dan gas. Hasil <i>coke</i> dan gas dari campuran bitumen dan <i>oil sands</i> lebih tinggi daripada yang hanya berasal dari bitumen.
2.	Junaid et al, 2008	<i>Cracking</i> Athabasca bitumen	Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah

		dengan menggunakan katalis zeolit alam jenis chabazite dan klipnotilolit	zeolit alam dapat memecah molekul berat terutama asphaltenes dan <i>light</i> hidrokarbon seperti pentana dan heksana dapat terekstrak.
3.	Lee dan Heo, 2011	Katalitik <i>cracking</i> bitumen <i>oil sands</i> pada <i>fixed bed</i> reaktor dengan katalis nanopori pada kondisi atmosfer.	Aktivitas katalitik tertinggi adalah Meso – LKM yang memproduksi hasil gas tinggi karena ukuran pori yang besar dan keasaman yang kuat. Ukuran pori bahan nanopori lebih berperan daripada asam lemah atau luas permukaan, tampaknya memegang peran penting dalam <i>cracking</i> bitumen <i>oil sands</i> .
4.	Yingxian dan Da, 2011	Reaksi <i>thermal hydrocracking</i> dan <i>catalitic hydrocracking</i> dengan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ dari campuran pentana tak larut dari Athabasca bitumen pada 430 °C.	Dalam penelitian ini disebutkan residu bitumen mengandung sejumlah besar makromolekul seperti asphaltenes. Konsentrasi tinggi hetero-atom, logam, karbon dan senyawa polar di asphaltenes mengganggu upgrade dan konversi bitumen dengan adanya proses seperti pembentukan <i>coke</i> dan

			deaktifasi katalis. Kesimpulan dari penelitian ini adalah dibandingkan dengan <i>thermal hidrocracking</i> , <i>catalitic hidrocracking</i> meningkatkan produksi produk cair dan menghambat pembentukan <i>coke</i> secara efektif.
5.	Ma dan Li, 2012	Ekstraksi dan pirolisis pada bitumen Asbuton dilakukan pada suhu 600°C.	Pirolisis dengan energi aktivasi rendah terutama pada perubahan hidrokarbon teradsorpsi dan pecahnya ikatan kimia lemah, seperti, ikatan C - O dan ikatan C - S. Hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa fraksi utama dalam produk <i>liquid</i> dari pirolisis adalah diesel, sekitar 52%. Sedangkan yield produk gas dari pirolisis kurang dari 5% dengan kandungan gas dengan % volume masing-masing CH ₄ 23,31%, H ₂ 20,21%, CO ₂ 16,05%, H ₂ S 7,48%, CO 3,02% dan C ₂ - C ₄ 27,94%.
6.	Pengfe Liu et al,	Thermogravimetric dari karakteristik	Disebutkan dalam penelitian ini pirolisis

	2014	dan kinetika pirolisis asbuton menggunakan thermogravimetric analyser (TGA) pada suhu 550°C	merupakan metode yang efektif digunakan untuk memisahkan dan merecovery bitumen dari batuan mineralnya (<i>sandstone host</i>).
7.	Aminati dan Nugroho, 2015	Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen Dari Asbuton Dengan Katalis Zeolit	Disebutkan Dari penelitian ini hasil (%) produk cair yang terbentuk tertinggi sebesar 65,31% dari massa bitumen awal pada kondisi operasi 400°C dengan penambahan 5% katalis zeolite.
8.	Pertami dan Nugroho, 2016	Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen Dari Asbuton Dengan Katalis Zeolit Alam	Disebutkan Dari penelitian ini hasil (%) produk cair yang terbentuk tertinggi sebesar 61,531% dari massa bitumen awal pada kondisi operasi 350°C dengan penambahan 9% katalis zeolite alam.

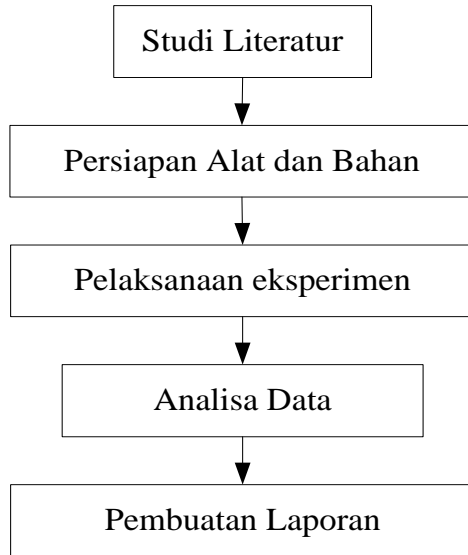
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Secara garis besar pelaksanaan proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Teknik Kimia, ITS. Bahan baku yang digunakan adalah Asbuton dari Lawele, Sulawesi Tenggara. Dalam penelitian ini dilakukan proses katalitik pirolisis bitumen dari Asbuton, dimana Asbuton sebagai bahan baku yang mengandung bitumen akan *dicracking* menggunakan katalis di dalam reaktor pirolisis vakum secara *semi continuous*.

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian maka ditempuh metodologi sebagai berikut



Gambar III.1 Langkah – langkah Penelitian

- Studi Literatur

Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mencari literatur yang berkaitan dengan tema yang penulis ambil. Hal ini untuk menyakinkan alasan penulis melakukan penelitian dengan mempertimbangkan perkembangan penelitian yang berkaitan dan potensi yang akan didapatkan. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari jurnal-jurnal nasional maupun internasional yang mendukung analisa hasil penelitian

nantinya. Selain itu, studi literatur juga dilakukan dengan diskusi bersama dosen pembimbing.

- **Persiapan Alat dan Bahan**

Tahapan kedua yaitu mempersiapkan peralatan dan bahan yang digunakan dalam eksperimen. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor katalitik pirolisis yang telah tersedia di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Bahan baku utama yang digunakan menggunakan asbuton yang berasal dari Lawele, Sulawesi Tenggara. Sedangkan untuk bahan pendukung didapatkan dari gudang bahan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

- **Pelaksanaan Eksperimen**

Tahapan ketiga yaitu melaksanakan eksperimen dengan prosedur yang telah ditelaah dari berbagai literatur. Pelaksanaan eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

- **Analisa Data**

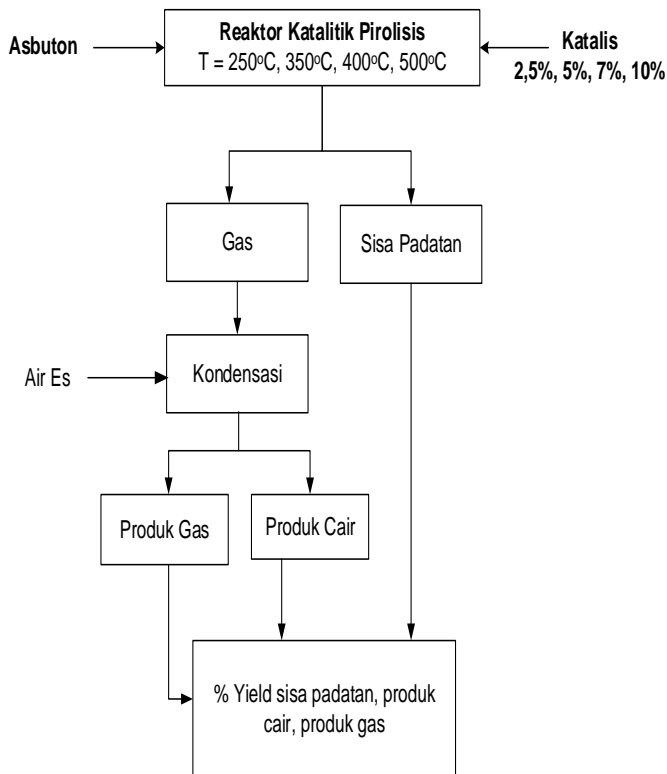
Tahapan keempat yaitu menganalisa hasil eksperimen. Analisa Data dilakukan melalui beberapa literatur dan uji hasil di beberapa laboratorium luar. Analisa data juga dilakukan dengan berdiskusi dengan dosen pembimbing.

- Pembuatan Laporan

Tahapan kelima yaitu menyusun laporan penelitian berdasarkan hasil eksperimen dan analisa data yang dilakukan. Dalam penyusunan laporan akan didampingi oleh dosen pembimbing.

III.2 Langkah - Langkah Penelitian

Secara garis besar prosedur dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 tahapan, yaitu tahap persiapan bahan baku, tahap aktivasi katalis, tahap analisis kadar bitumen awal, tahap pirolisis *cracking* bitumen dalam asbuton, dan tahap analisis data. Untuk mekanisme pirolisis yang terjadi dalam cracking bitumen hingga analisa data dapat ditunjukkan pada **Gambar III.2**. Bahan baku asbuton dan katalis yang telah melalui tahap persiapan bahan baku akan masuk ke dalam reaktor katalitik pirolisis yang dioperasikan dengan kondisi tekanan vakum dan temperatur yang divariasi dari 250 °C sampai dengan 500 °C. Proses pirolisis ini berlangsung hingga produk gas hasil pirolisis tidak tersisa. Dari proses pirolisis ini akan terbentuk produk cair dan produk gas yang tidak terkondensasi serta padatan yang tertinggal di dalam reaktor.



Gambar III.2 Flowchart Proses Pirolisis dan Analisis Data

III.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Tujuan dari persiapan bahan baku ini adalah untuk menyeragamkan diameter partikel Asbuton dengan cara memperkecil ukuranya menggunakan *crusher/hammer* kemudian disaring dengan ayakan sebesar 20 mesh.

III.2.2 Tahap Aktivasi Katalis

Pada tahap ini dilakukan aktivasi katalis untuk menaikkan kualitas zeolit. Aktivasi katalis zeolit dilakukan secara fisis. Aktivasi secara fisik bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Aktivasi ini dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu 300°C-400°C selama 6 jam. Setelah itu, zeolit yang telah diaktivasi disimpan dalam desikator untuk mencegah kontak dengan air kembali.

III.2.3 Karakterisasi Katalis

Karakterisasi katalis perlu dilakukan agar dapat diketahui perbedaan sifat fisik maupun kimia pada katalis sebelum ataupun setelah reaksi. Pada penelitian ini, karakterisasi katalis dilakukan dengan menggunakan metode BET untuk mengetahui luas permukaan katalis, X-RD untuk mengukur kristalinitas katalis, dan SEM untuk uji ukuran partikel.

a. Luas Permukaan

BET merupakan singkatan dari nama-nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan pada suatu material. Mereka adalah Brunauer, Emmet, dan Teller. Metode BET digunakan untuk mengetahui penambahan luas permukaan zeolite setelah dilakukan perlakuan asam, pertukaran ion, dan

impregnasi Praseodimium oksida-EDTA dan pengaruh dilakukannya ultrasonik (Darius, 2005). Metode BET didasarkan pada penentuan volume molekul yang teradsorpsi secara fisika setebal satu lapis molekul (*monolayer*) pada permukaan katalis (V_m). Asumsi yang digunakan pada teori BET ini adalah adsorpsi berlapis banyak (*multilayer*), V_m yang dihitung adalah jumlah volume lapisan terluar.

b. Kristalinitas dengan Difraksi Sinar-X

Difraksi pada dasarnya disebabkan oleh adanya hubungan fasa tertentu antara dua penggerak atau lebih sehingga paduan dua gelombang tersebut bisa saling menguatkan atau saling melemahkan.

Difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) untuk bahan berwujud serbuk adalah metode yang penting untuk karakterisasi kualitatif dan kuantitatif karena pola umum difraksi sinar-X untuk zeolit khas dan mudah dikenal. Pola difraksi bubuk zeolit adalah plot intensitas sinar difraksi yang menyatakan indeks Miller (hkl) sebagai fungsi 2θ dimana θ adalah sudut difraksi :

$$n\lambda = 2d \sin\theta \dots\dots\dots(2.12)$$

d adalah jarak antar bidang kristal dan λ adalah panjang gelombang sinar X. Jarak bidang kristal (hkl) atau indeks Miller menentukan unit sel kristal.

Secara umum hasil yang diperoleh dari metode XRD adalah analisis kualitatif. Pengukuran intensitas dari difraksi sinar x menggunakan skala realtif. Penentuan kristalinitas atau sering disebut sebagai “%kristalinitas” pada dasarnya adalah membandingkan intensitas yang diperoleh dari suatu sampel dengan intensitas sampel standar. Penentuan ini menjadi lebih mudah dengan jalan merata-rata tinggi dari beberapa puncak dominan, kemudian dibagi rata-rata tinggi peak sampel standar yang dianggap mempunyai kristalinitas 100%.

c. Morfologi Katalis dan Komposisi Kimia (SEM-EDS)

Alat ini terbagi menjadi dua bagian fungsi yang berbeda, yaitu EDS dan SEM. Uji EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) ini dapat membaca suatu permukaan sampel dengan suatu alat pembaca elektron (5-50kV) sehingga dapat mengetahui komposisi logam-logam yang ada didalam zeolite, dalam hal ini terutama untuk mengetahui rasio Si/Al. Jika rasio Si/Al meningkat, maka zeolit akan lebih stabil terhadap suhu tinggi.

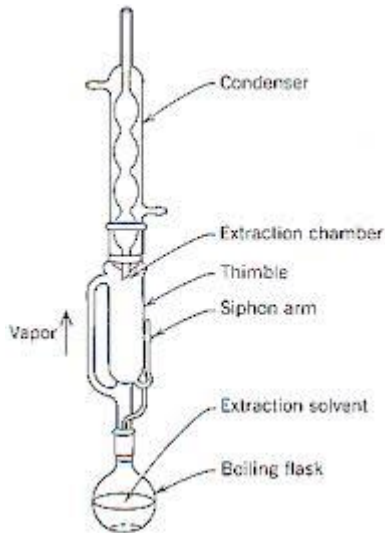
SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dimana uji SEM dilakukan terhadap jenis zeolit berupa katalis zeolite alam aktif. Tujuan uji SEM adalah untuk mengukur kehomogenan pembentukan ukuran partikel dari sintesis yang dilakukan. Selain itu, uji SEM dapat memberikan data nilai ukuran

partikel katalis. Uji SEM menghasilkan foto partikel katalis yang diperoleh dengan perbesaran gambar untuk pengamatan katalis yang dikarakterisasi. Pengolahan data uji SEM dilakukan dengan mengukur panjang partikel yang terdapat di foto dengan menggunakan penggaris. Selanjutnya, ukuran yang diperoleh dibandingkan dengan skala yang terdapat di bagian bawah foto.

III.2.4 Tahap Analisis Kadar Bitumen Awal

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui kadar bitumen awal dalam Asbuton. Pertama, kadar bitumen dalam batuan dianalisis melalui metode ekstraksi menggunakan soklet. Yang perlu dilakukan pertama adalah menghilangkan kadar air dalam batuan asbuton dalam oven pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$. Kemudian menimbang massa asbuton awal, dan selanjutnya dilakukan ekstraksi menggunakan soklet. Pelarut yang digunakan adalah TCE (*Trichloroethylene*) karena merupakan pelarut yang baik untuk senyawa organik (bitumen). Kemudian dihitung massa mineral yang masih tertinggal. Dari sana bisa dihitung massa bitumen yang terekstrak, yakni selisih antara massa asbuton awal dan massa mineral yang tertinggal.

$$\text{Kadar Bitumen} = \frac{\text{Massa Bitumen Terekstrak}}{\text{Massa Asbuton}} \times 100\% \quad (1)$$



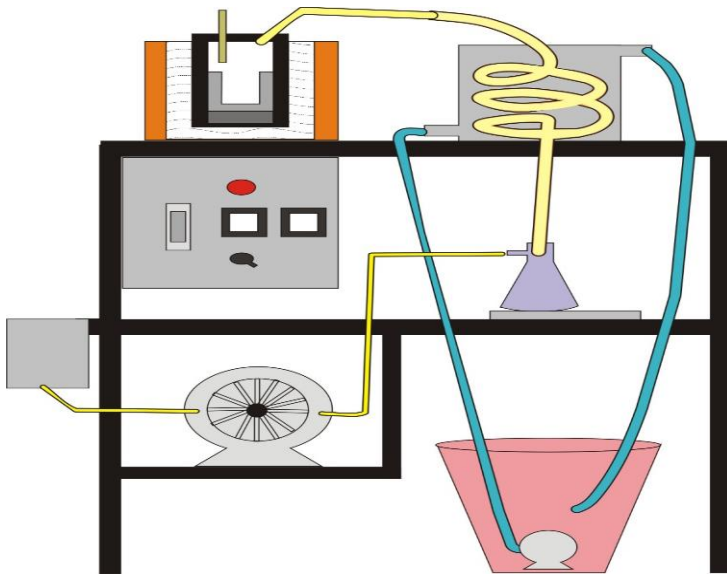
Gambar III.3 Skema Rangkaian Alat Ekstraktor Soklet

III.2.5 Tahap *Cracking* Bitumen dalam Asbuton

Proses *cracking* bitumen menggunakan proses pirolisis dengan dan tanpa katalis dalam keadaan vakum. Tahap ini dilakukan di tangki reaktor berdiameter 10,16 cm dan tinggi 20 cm, di dalam reaktor terdapat gelas *stainless steel* dengan diameter 7.62 cm dan tinggi 11 cm sebagai tempat sampel, di bawah gelas *stainless steel* dipasang penyangga setinggi 2 cm untuk mencegah panas langsung dari *heater*. Pada proses *cracking* bitumen dari batuan asbuton digunakan *belt heater*, hal ini diharapkan panas yang dihantarkan akan merata ke seluruh

bagian reaktor. Bagian luar reaktor dipasang batu tahan api yang berguna untuk mengurangi *heat loss* dari *heater*. Pada percobaan ini *cracking* bitumen diberikan perlakuan tanpa menggunakan katalis dan dengan menggunakan katalis, katalis yang digunakan adalah katalis zeolit alam.

Tahap ini dimulai dengan menimbang massa asbuton dan katalis yang diperlukan dengan persen massa katalis terhadap massa asbuton sesuai dengan variabel. Selanjutnya asbuton dan katalis yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas *stainless steel* kemudian diaduk rata, lalu gelas *stainless steel* dimasukkan ke dalam tangki reaktor. Setelah ditutup tangki reaktor divakum menggunakan *vacum pump* dan *heater* diset sesuai variabel suhu pirolisis. Gas yang terbentuk dari proses ini akan dikondensasi pada kondensor spiral dengan panjang 2 meter yang didinginkan menggunakan air es. Produk cair ditampung didalam enlenmeyer, sedangkan gas yang tidak terkondensasi (produk gas) ditampung didalam kantong gas. Pirolisis dilakukan selama kurang lebih 2 jam atau sampai produk cair berhenti menetes. Kemudian % yield produk yang terbentuk masing-masing dianalisa dan % konversi bitumen.



Gambar III.4 Skema Rangkaian Alat Pirolisis

III.2.6 Analisa Data

Analisa yang akan dilakukan adalah analisa untuk mengetahui berapa banyak persen *yield* (%) yang diperoleh dari masing-masing produk gas, cair, dan padat. Untuk menentukan persen (%) *yield* produk adalah dengan menggunakan neraca massa pada masing – masing produk dan (%) produk cair.

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{ Produk Cair} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\% \quad (3)$$

III.3 Bahan yang Digunakan

1. Asbuton Lawele
2. Katalis Zeolit Alam
3. TCE (*Trichloroethylene*)

III.4 ALAT YANG DIGUNAKAN

III.4.1 Peralatan Persiapan Bahan Baku

1. *Hammer*
2. Ayakan 20 mesh dan perlengkapannya

III.4.2 Peralatan Aktivasi Katalis

1. Furnace
2. Cawan Porselin

III.4.3 Peralatan Ekstraksi Bitumen Menggunakan TCE

1. Ekstraktor Soklet
2. Labu alas datar
3. Klem Holder dan Statif
4. Kondensor Refluks
5. Pemanas
6. Gelas ukur 10 ml
7. Kertas saring
8. Stopwatch
9. Termometer

III.4.4 Peralatan Proses Pirolisis Bitumen dalam Asbuton

1. Gelas *stainless steel*
2. Tangki reaktor
3. *Belt heater*
4. Batu tahan api
5. Kondensor spiral
6. Erlenmeyer vakum 500 ml
7. *Vacum pump* dan perlengkapannya
8. Kantong gas
9. Stopwatch
10. Neraca Analitik kapasitas 2 kg

III.5 Variabel Penelitian

III.5.1 Kondisi yang ditetapkan

1. Massa Asbuton = 250 gram
2. Jenis katalis = Zeolit Alam

III.5.2 Variabel Masukan

1. Suhu pirolisis = 250 °C, 350 °C, 400 °C, 500 °C
2. Ratio Katalis : Asbuton = 2,5%, 5%, 7%, 10% terhadap massa asbuton

III.5.3 Variabel Respon

1. Persen (%) *yield* produk:

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\% \quad (4)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

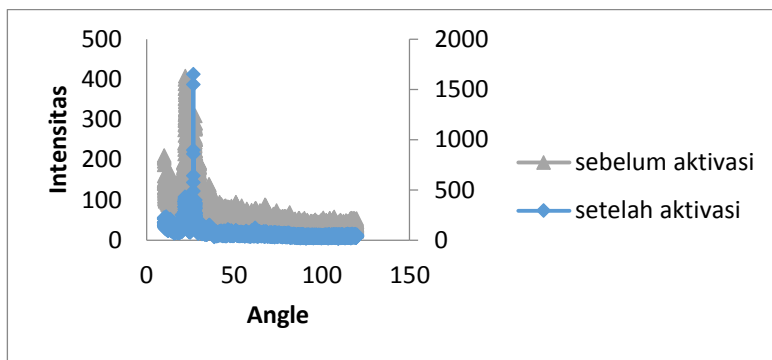
Pada bab ini akan dibahas hasil penelitian secara eksperimen proses pirolisis untuk *cracking* bitumen dari batuan Aspal Buton dengan dan tanpa menggunakan katalis zeolite alam. Adapun kondisi yang ditetapkan dalam penelitian adalah jumlah asbuton yaitu 250 gram dan katalis zeolit alam. Kondisi yang divariasikan adalah suhu pirolisis 250°C, 350 °C, 400°C dan 500 °C, dan dengan jumlah penambahan katalis 2,5%, 5%, 7%, 10% (persen (%)) berat dari jumlah asbuton yang digunakan). Kondisi operasi divariasikan dengan tujuan untuk dipelajari pengaruhnya terhadap persen (%) yield dan persen (%) produk cair. Kadar awal bitumen yang digunakan diperoleh 26,16% yang didapatkan dengan proses ekstraksi soklet dengan pelarut *Trichloroethylene* (TCE).

IV.1 Analisa Karakteristik Katalis Zeolit Alam

IV.1.1 Karakterisasi Kritisasi Katalis (XRD)

Metode difraksi sinar- x merupakan metode utama untuk mengidentifikasi dan menggambarkan struktur zeolit. X-Ray Difraksi (XRD) dilakukan pada suhu kamar menggunakan 2θ dengan rentang 0–120°. **Gambar IV.1** menunjukkan grafik hubungan antara sudut dan intensitas dapat diketahui struktur

kristal dari katalis yang dihasilkan melalui puncak–puncak yang timbul. Grafik ini membandingkan struktur kristal katalis zeolit sebelum dan sesudah proses aktivasi.



**Gambar IV.1 Spektrum Difraksi Sinar-X Katalis Zeolit
Sebelum dan Sesudah Aktivasi**

Lebar puncak difraksi memberikan informasi tentang ukuran kristal (Abdullah, M & Khairurrijal, 2009). Dilihat dari **Gambar IV.1** spektrum katalis setelah aktivasi terlihat pada sudut difraksi (2θ) utama dengan urutan puncak tertinggi 21,89007; 21,90678; 21,92349; 21,9402; 21,95691; 21,97362; 21,99034; 22,00705; 22,02376; 22,04047. dengan intensitas peak berturut–turut adalah 389; 424; 384; 405; 395; 382; 432; 409; 397; 413. Pada sudut difraksi tersebut terbentuk puncak yang cukup tajam dan berhimpit dimana mendekati sebuah garis vertikal. Peak yang terbentuk mengindikasikan bahwa ukuran

kristal berukuran besar. Sedangkan spektrum katalis sebelum aktivasi terlihat pada sudut difraksi (2θ) utama dengan urutan puncak tertinggi 22,00705; 22,02376; 22,04047; 22,05718; 22,07389; 22,0906; 22,10731; 22,12403; 22,14074; 22,15745 dengan intensitas masing-masing adalah 353; 400; 389; 368; 390; 408; 369; 379; 362; 324 Berdasarkan **Gambar IV.1** spektrum katalis sebelum aktivasi menghasilkan puncak difraksi yang lebar dimana struktur kristal menjadi kecil.

Pada zeolit alam komponen CaO cukup besar, dimana peaknya paling tinggi. Dengan adanya proses dealuminasi dan kalsinasi akan menyebabkan hilangnya komponen CaO (Widayat dkk, 2008). Ditunjukkan ada perbedaan puncak pada **Gambar IV.1**, dengan adanya kedua perlakuan tersebut, difraksi sinar-X katalis zeolit sesudah aktivasi mengalami penurunan intensitas. Dengan demikian katalis yang dihasilkan semakin rendah kandungan CaO-nya.

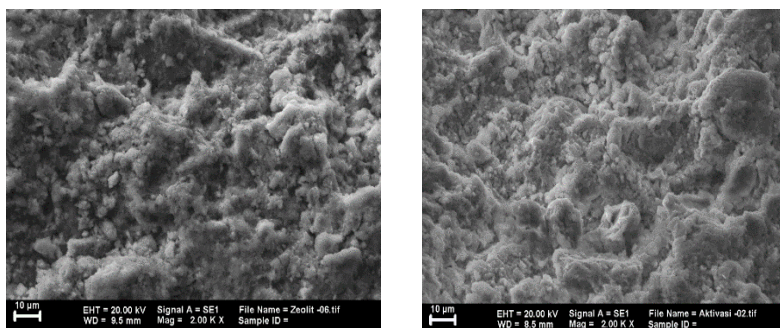
Ukuran kristal, yang merupakan fraksi atau jumlah bagian atom yang berhubungan dengan jumlah situs aktif. Pada distribusi ukuran kristal yang kecil, permukaan situs aktif katalis menjadi lebih luas daripada ukuran kristal yang besar (Istadi and Amin, 2004).

Pada penelitian kami zeolit sebelum diaktivasi memiliki ukuran kristal yang lebih kecil dibandingkan dengan zeolit setelah

diaktivasi. Sehingga katalis zeolit yang sebelum diaktivasi mempunyai situs aktif yang lebih luas.

IV.1.2 Karakterisasi Morfologi Katalis dan Komposisi Kimia (SEM-EDS)

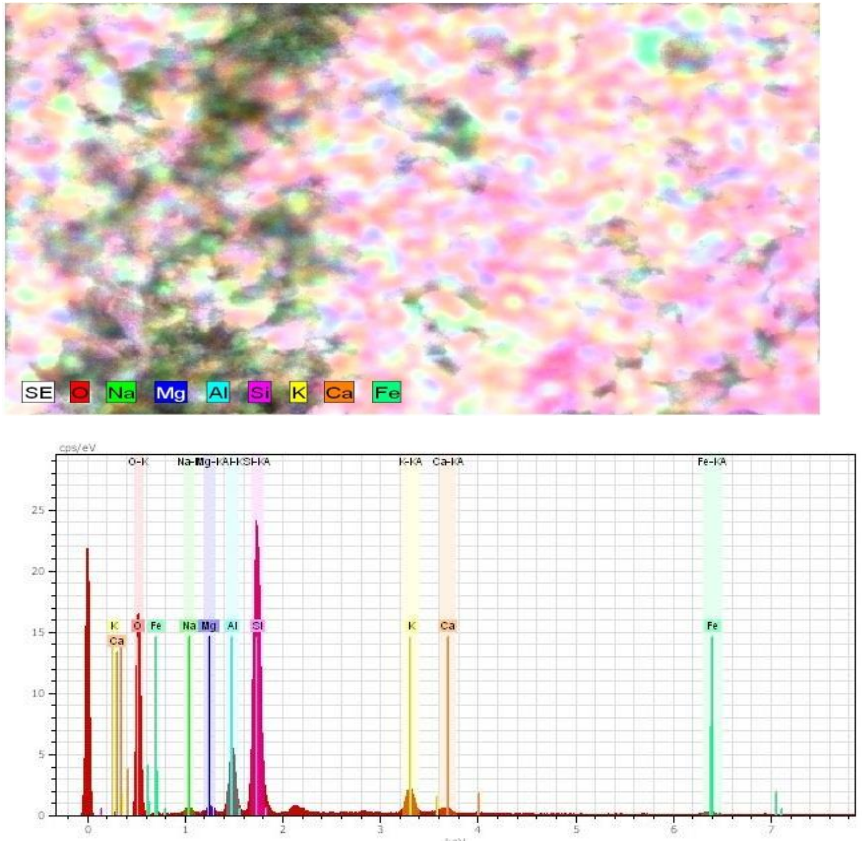
Analisa SEM digunakan untuk mengetahui struktur fisik katalis zeolit sebelum dan sesudah aktivasi dengan perbesaran tertentu.



Gambar IV.2 Analisa SEM-EDS Katalis Zeolit Sesudah dan Sebelum Aktivasi

Hasil karakterisasi SEM-EDS melalui perbesaran 1000 kali, dapat terlihat bahwa zeolit alam sebelum diaktivasi mempunyai banyak pori dan kristal zeolitnya tertata lebih rapi dibandingkan dengan zeolit alam setelah diaktivasi (Lestari, 2010). Penggambaran morfologi fisis permukaan katalis zeolit alam dapat dilihat pada **Gambar IV.2**, ada pencitraan topologi

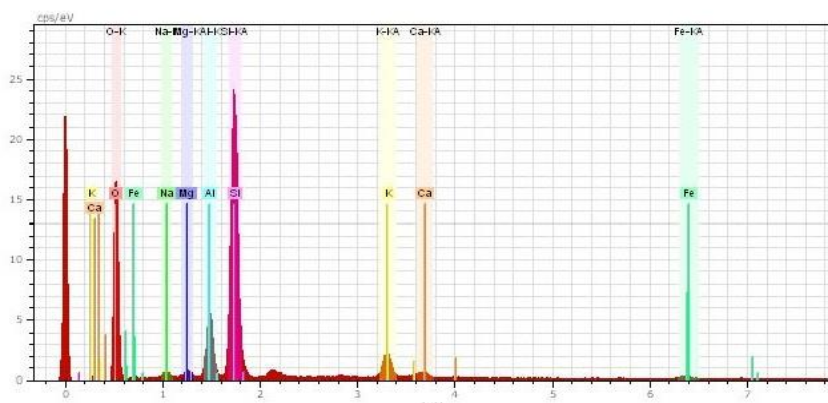
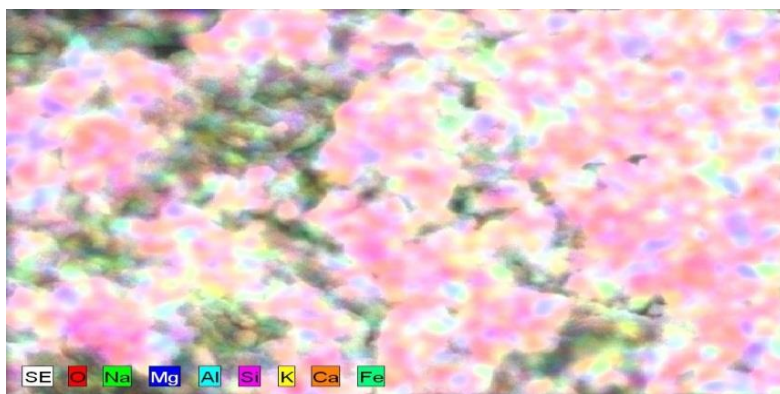
permukaan dari kristal katalis zeolit alam berbentuk kubik (Saputro, 2015).



Gambar IV.3 Analisa SEM-EDX Katalis Zeolit Sebelum Aktivasi Dengan Perbesaran 490x

**Tabel IV.1 Berbagai Kandungan Dalam Katalis Zeolit Alam
Sebelum Diaktivasi**

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	51.96	62.15	75.10	6.2
Na	11	K-series	0.80	0.96	0.80	0.1
Mg	12	K-series	0.20	0.24	0.19	0.0
Al	13	K-series	5.33	6.37	4.56	0.3
Si	14	K-series	19.68	23.54	16.20	0.9
K	19	K-series	4.00	4.78	2.36	0.2
Ca	20	K-series	0.60	0.72	0.35	0.0
Fe	26	K-series	1.04	1.25	0.43	0.1
Total:			83.61	100.00	100.00	



Gambar IV.4 Analisa SEM-EDX Katalis Zeolit Setelah Aktivasi Dengan Perbesaran 490x

**Tabel IV.2 Berbagai Kandungan Dalam Katalis Zeolit Alam
Setelah Diaktivasi**

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	52.47	63.68	76.28	6.3
Na	11	K-series	0.69	0.83	0.70	0.1
Mg	12	K-series	0.30	0.36	0.29	0.0
Al	13	K-series	4.78	5.81	4.12	0.3
Si	14	K-series	19.20	23.30	15.90	0.8
K	19	K-series	3.03	3.68	1.80	0.1
Ca	20	K-series	0.64	0.77	0.37	0.0
Fe	26	K-series	1.29	1.57	0.54	0.1
Total:			82.39	100.00	100.00	

Analisa EDS merupakan analisa kuantitatif untuk membuktikan jumlah Si-Al dalam katalis zeolit alam. Dari analisa EDS didapatkan jumlah Si-Al dalam katalis zeolit alam sebelum dan sesudah aktivasi cukup banyak. Berdasarkan hasil analisa SEM-EDS, dapat diinformasikan bahwa katalis zeolit alam sebelum diaktivasi memiliki karakter yang baik untuk digunakan sebagai katalis. Dilihat dari rasio Si/Al, zeolit alam tersebut termasuk dalam zeolit heulandit.

IV.1.3 Karakterisasi Luas Permukaan Katalis (BET)

BET digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material yang meliputi surface area (SA, m²/g), diameter pori (D) dan volume pori (V_{pr}, cc/g).

Tabel IV.3 Hasil Analisa BET Sebelum Diaktivasi

Sample Desc	Powder
Sample weight	0.27684 g
Relative Pressure	2.96328×10^{-01} P/Po
Volume @ STP	13.4552 cc/g
Slope	84.5067
Surf. Area	41.2100 m ² /g

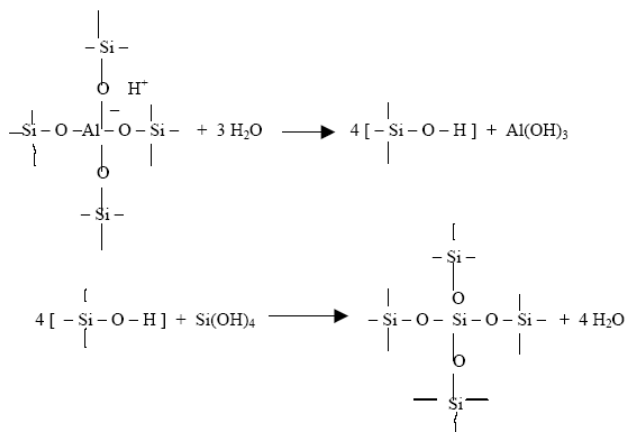
Tabel IV.4 Hasil Analisa BET Setelah Diaktivasi

Sample Desc	Powder
Sample weight	0.28826 g
Relative Pressure	2.97875×10^{-01} P/Po
Volume @ STP	6.0513cc/g
Slope	188.3158
Surf. Area	18.4930 m ² /g

Dari tabel di atas diketahui bahwa luas permukaan katalis zeolit alam setelah diaktivasi lebih kecil yaitu 18.4930 m²/gdari pada katalis zeolit alam sebelum diaktivasi yaitu 41.2100 m²/g.

Penurunan luas permukaan yang bisa dilihat pada hasil BET pada katalis zeolit alam setelah diaktivasi dapat diperkirakan karena saat proses kalsinasi terhadap katalis zeolit alam setelah diaktivasi yang menggunakan suhu tinggi dapat menyebabkan

penyusutan ukuran partikel pori dipermukaan zeolit. Hal ini disebabkan karena penelitian kami melakukan aktivasi zeolit alam secara fisika yaitu dengan cara pemanasan pada suhu 300°C-400°C selama 6 jam. Penyusutan yang disebabkan oleh panas yang tinggi mengakibatkan partikel-partikel silika berukuran kecil akan berkurang atau mungkin akan lenyap sama sekali dan sebagai gantinya akan muncul partikel-partikel berukuran besar. Struktur pori kemudian akan runtuh dan ruang kosong yang telah terbentuk justru terisi dengan silika yang mengakibatkan ukuran pori yang didapatkan akan semakin kecil. Kemungkinan lain sebagai penyebab menurunnya luas permukaan adalah adanya penggumpalan logam-logam yang menempel dipermukaan katalis. Oleh karena itu luas permukaan dari katalis zeolit alam setelah diaktivasi akan lebih kecil dibandingkan dengan katalis zeolit alam sebelum diaktivasi (Witanto, 2010).



Gambar IV. 5 Reaksi Perubahan Ikatan Dalam Zeolit
(Widayat dkk, 2008)

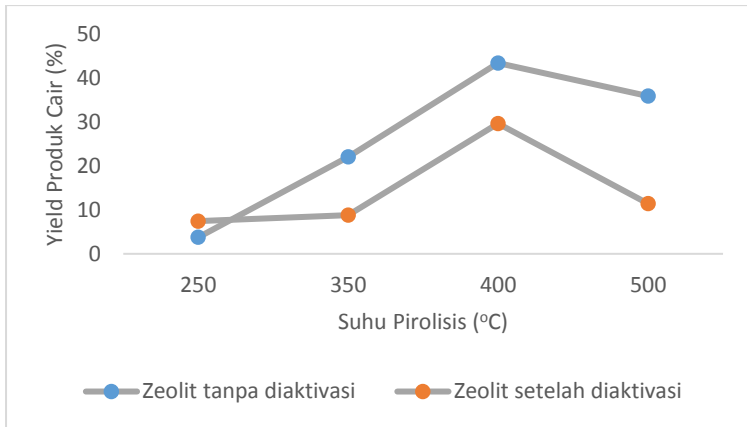
Dengan adanya reaksi hidrolisis dan proses kalsinasi terjadi kenaikan perbandingan Si/Al maka merubah kerangka dari zeolit. Pada saat kristal zeolit menjadi kerangka yang berbentuk jaring tetrahedral SiO_4 , zeolit mempunyai sifat sangat berpori. Pori-porinya berukuran molekuler, karena pori zeolit terbentuk dari tumpukan cincin beranggotakan 6, 8, 10, atau 12 tetrahedra. Sehingga aktivasi katalis zeolit alam secara kimia dengan ditambahkan pelarut bertujuan tidak terjadi pengerutan lebih baik dibandingkan dengan aktivasi katalis zeolit alam secara fisika.

Dapat disimpulkan bahwa jika dilihat dari hasil analisa secara kuantitatif (BET) hasil *Surface Area* pada katalis zeolit

alam sebelum diaktivasi lebih besar dibandingkan dengan katalis zeolit alam sesudah aktivasi, dan apabila dilihat dari analisa secara kualitatif (X-RD dan SEM-EDS), pada hasil X-RD penelitian kami zeolit sebelum diaktivasi memiliki ukuran kristal yang lebih kecil dibandingkan dengan zeolit setelah diaktivasi. Sehingga katalis zeolit yang sebelum diaktivasi mempunyai situs aktif yang lebih luas, jika dilihat dari hasil analisa SEM berdasarkan morfologinya bahwa zeolit alam sebelum diaktivasi mempunyai banyak pori dan kristal zeolitnya tertata lebih rapi dibandingkan dengan zeolit alam setelah diaktivasi, dan untuk hasil analisa EDS zeolit alam sebelum diaktivasi memiliki karakter yang baik untuk digunakan sebagai katalis. Maka dari itu kami menggunakan katalis zeolit alam sebelum aktivasi.

IV.2 Pengaruh Penambahan 2,5% Katalis Zeolit Dengan dan Tanpa Aktivasi Terhadap % Yield Produk Cair

Pada **Gambar IV.6** menunjukkan pengaruh penambahan 2,5 % katalis zeolit dengan dan tanpa aktivasi terhadap % yield produk cair. Proses pirolisis dilakukan pada kondisi suhu pirolisis 250°C, 350 °C, 400°C dan 500 °C.



Gambar IV.6 Pengaruh Penambahan 2,5% Katalis Zeolit dengan dan tanpa Aktivasi Terhadap % Yield Produk Cair

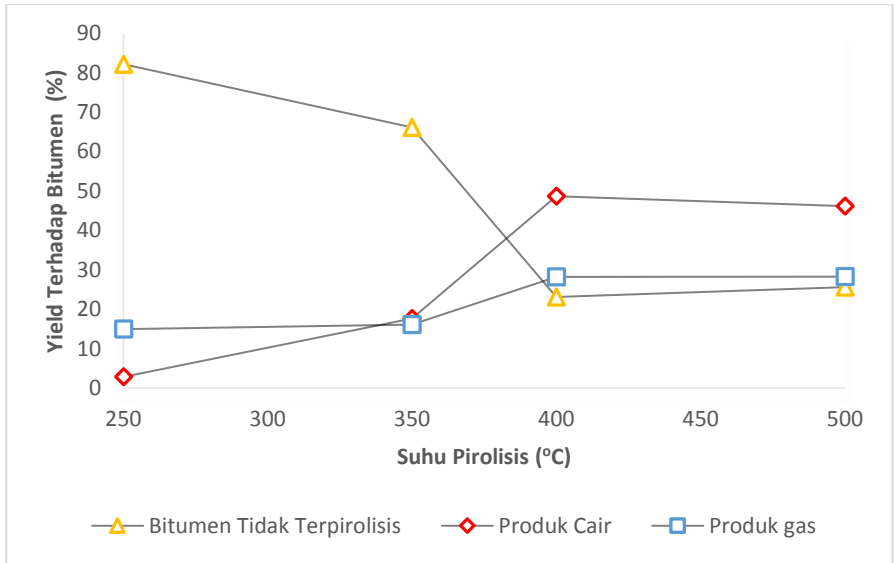
Pada **Gambar IV.6** dapat ditunjukkan bahwa yield produk cair cenderung meningkat dari suhu 250°C sampai suhu 400°C kemudian menurun pada suhu 500°C untuk katalis yang diaktivasi maupun sebelum diaktivasi. Yield produk cair dengan penambahan katalis tanpa aktivasi lebih tinggi dibandingkan dengan yield produk cair dengan katalis setelah diaktivasi. Hal ini sebagai akibat bahwa proses aktivasi menyebabkan luas permukaan katalis semakin berkurang cukup signifikan dibandingkan dengan sebelum aktivasi yaitu sebesar 41.2100 m²/g menjadi 18.4930 m²/g. Penurunan luas permukaan katalis sebanding dengan penurunan keaktifan katalis. Oleh karena itu

hasil percobaan ini bahwa pemilihan katalis yang telah diaktivasi menghasilkan yield produk cair yang lebih rendah dibandingkan dengan katalis tanpa diaktivasi. Berdasarkan hasil ini maka proses pirolisis dalam penelitian ini selanjutnya akan menggunakan katalis tanpa aktivasi.

IV.3 Pengaruh Suhu Pirolisis Tanpa Katalis Terhadap % Yield Produk

Pengaruh suhu pirolisis terhadap % yield produk cair, gas dan bitumen tersisa ditunjukkan pada **Gambar IV.7**. Proses pirolisis dilakukan pada kondisi tanpa penambahan katalis dengan suhu pirolisis 250°C, 350 °C, 400°C dan 500 °C.

Proses pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton pada suhu tertentu menghasilkan tiga jenis produk yakni produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis yang masih terkandung dalam mineral asbuton. Hal ini menunjukkan bahwa bitumen dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis.



Gambar IV.7 Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Persen (%) Yield Tanpa Penambahan Katalis

Perhitungan masing-masing persen yield produk menggunakan perhitungan neraca massa. Dari **Gambar IV.7** Pada kondisi suhu 250°C pirolisis yang terjadi sangat lambat dan hasil menunjukan dengan kenaikan suhu pirolisis akan meningkatkan yield produk cair hingga suhu 400°C, namun saat suhu pirolisis ditingkatkan menjadi 500°C yield produk cair berkurang dan cenderung konstan yang disertai dengan kenaikan yield produk gas. Ditunjukkan pula semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak bitumen yang terkonversi menjadi produk

cair dan produk gas ditunjukkan oleh penurunan jumlah bitumen yang tidak terpirolisis pada **Gambar IV.7**.

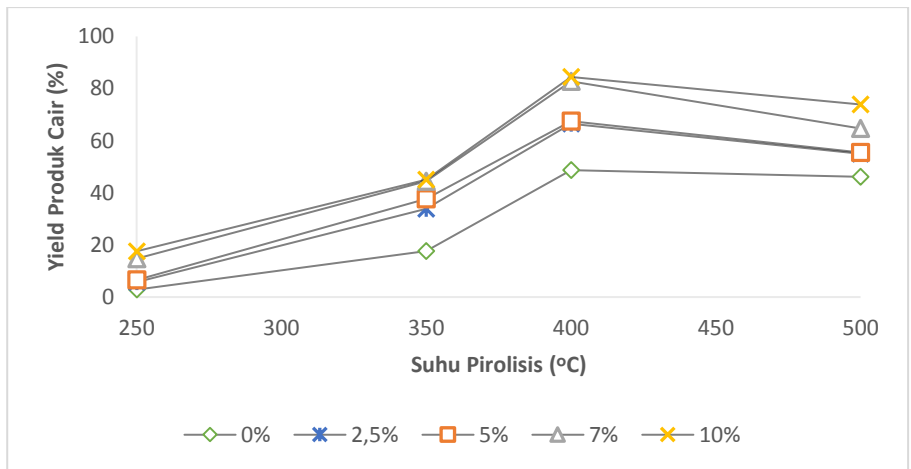
Pada suhu pirolisis dibawah 300°C seperti penelitian yang dilakukan oleh Aminati dan Nugroho (2015) dengan suhu pirolisis 200 °C-300 °C bitumen yang terkonversi menjadi yield produk cair dan yield produk gas masih sangat sedikit. Hal ini menandakan bahwa proses pirolisis bitumen belum terjadi pada suhu dibawah 300°C, penjelasan ini didukung oleh penelitian Lababidi dkk (2014) dimana *asphaltenes* yang merupakan kandungan utama dari bitumen mengalami *cracking* pada suhu 380°C sehingga pada suhu pirolisis yang rendah, *ashphaltenes* yang terkandung dalam bitumen belum mengalami proses cracking.

Dalam penelitian ini, diperoleh % yield produk cair dengan tanpa katalis tertinggi sebesar 48.692% yang tercapai pada kondisi suhu pirolisis 400°C. Dimana pada suhu tersebut *asphaltenes* yang terkandung dalam bitumen telah mengalami proses *cracking* menjadi senyawa dengan rantai lebih pendek. Hasil ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Ma dan Li (2012) yang menyatakan proses *cracking* bitumen menghasilkan produk cair terbanyak pada rentang suhu 380°C–480°C. Ketika suhu dinaikan diatas 480°C jumlah produk cair yang dihasilkan cenderung konstan dan menghasilkan produk gas lebih banyak. Karena proses *cracking* dari bitumen pada suhu diatas 480°C

menghasilkan lebih banyak produk dengan rantai lebih pendek yang tidak dapat terkondensasi pada suhu 25°C. Selain itu masih ada kemungkinan gas yang terbentuk belum terkondensasi disebabkan oleh terbatasnya kemampuan kondensor untuk mentransfer panas pada suhu tinggi yang mengakibatkan jumlah produk cair pada suhu 500°C menurun.

IV.4 Pengaruh Suhu Pirolisis dengan Penambahan Katalis Pada %Yield Produk Cair.

Produk cair hasil proses cracking diharapkan menghasilkan yield tertinggi guna memperoleh bahan bakar cair dengan jumlah yang banyak. Oleh karena itu pada **Gambar IV.8** akan dijelaskan pengaruh suhu pirolisis dan jumlah penambahan katalis zeolit guna mendapatkan produk cair dari hasil proses cracking bitumen yang terkandung dalam asbuton.



Gambar IV.8 Pengaruh Penambahan Katalis Pada Tiap Suhu Pirolisis Terhadap Yield Produk Cair Pada Tiap Penambahan Katalis

Pada **Gambar IV.8** dapat ditunjukkan bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka semakin besar yield produk cair yang dihasilkan. Seperti pada **Gambar IV.8** yield produk cair terbesar dicapai pada kondisi suhu pirolisis 400°C dengan penambahan 10% katalis yakni sebesar 84.442% dan akan menurun ketika suhu pirolisis dinaikan diatas 400°C. Begitu pula dengan penggunaan jumlah katalis lainnya. Yield produk cair akan meningkat hingga suhu optimal untuk mencapai % yield produk cair terbesar sesuai yang disajikan pada **Tabel IV.5** dan akan kembali turun ketika suhu pirolisis yang digunakan dinaikan.

Tabel IV.5 Suhu Pirolisis Terbaik Untuk Memperoleh Yield Cair Tertinggi Tiap Penambahan Jumlah Katalis

Persentase Katalis	Suhu Pirolisis Optimal	%Yield Produk Cair
0%	400 °C	48,692
2,5%	400 °C	66,493
5%	400 °C	67,487
7,5%	400 °C	82,765
10%	400 °C	84,442

Pada **Tabel IV.5** dan **Gambar IV.8** ditunjukan bahwa terdapat peningkatan penggunaan katalis pada suhu yang sama yaitu 400°C, yang mana dengan menambahkan katalis akan menurunkan suhu optimal pirolisis guna mendapatkan % yield produk cair tinggi apabila dibandingkan dengan tanpa katalis, ditandai dengan adanya peningkatan jumlah % yield pada produk cair.

Peran katalis ini juga dibantu suhu operasi pirolisis seperti yang disebutkan pada penelitian Liu dkk (2014) dimana bitumen mulai terurai pada suhu 200°C. Proses pirolisis menjadikan bitumen yang terdapat dalam asbuton ter-*cracking* menjadi produk bahan bakar cair.

Pada **Gambar IV.8** dapat dijelaskan bahwa penambahan katalis sebanding dengan penurunan suhu pirolisis guna

mendapatkan % yield produk cair yang maksimal seperti yang ditampilkan pada **Tabel IV.5** Dalam jurnal yang ditulis oleh Vamvuka (2011), dijelaskan bahwa proses pirolisis bitumen dengan suhu mencapai 600°C akan menghasilkan bahan tahan panas (fase gas atau hidrokarbon rantai pendek). Karena adanya penambahan katalis maka semakin kecil suhu pirolisis yang dibutuhkan untuk meng-*cracking* bitumen menjadi hidrokarbon rantai pendek yang tidak dapat terkondensasi.

Pada jurnal yang ditulis oleh Vamvuka (2011), dijelaskan pula bahan-bahan jenis aspal akan terpirolisis menjadi minyak dan gas pada rentang suhu 400°C–420°C. Lababidi dkk (2014) juga menyebutkan bahwa *asphalthe* yang merupakan kandungan utama bitumen akan mengalami *cracking* pada suhu 380°C. Namun dengan penambahan katalis zeolite, *asphaltenes* telah dapat ter-*cracking* pada suhu < 380°C yang bisa dilihat dari hasil produk cair. Hal ini dikarenakan kehadiran katalis dapat menurunkan energi yang diperlukan untuk meng-*cracking* bitumen.

Penelitian yang dilakukan Ma dan Li (2014) dikatakan bahwa proses *cracking* bitumen menghasilkan produk cair terbanyak pada suhu 380°C–480°C. Dalam **Tabel IV.5** Dapat terlihat % yield tertinggi pada tiap penambahan katalis berada pada suhu 400°C.

Penelitian yang dilakukan oleh Pertamina dan Nugroho (2016) disebutkan bahwa hasil (%) produk cair yang terbentuk tertinggi sebesar 61,351% dari massa bitumen awal pada kondisi operasi 350°C dengan penambahan katalis 9%. Dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa kondisi terbaik untuk mendapatkan % yield produk cair tertinggi dengan melakukan pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton adalah pada suhu 400°C dengan katalis sebanyak 10% dengan % yield produk cair sebesar 84.442% dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penambahan katalis maka semakin besar pula % yield produk cair yang dihasilkan.

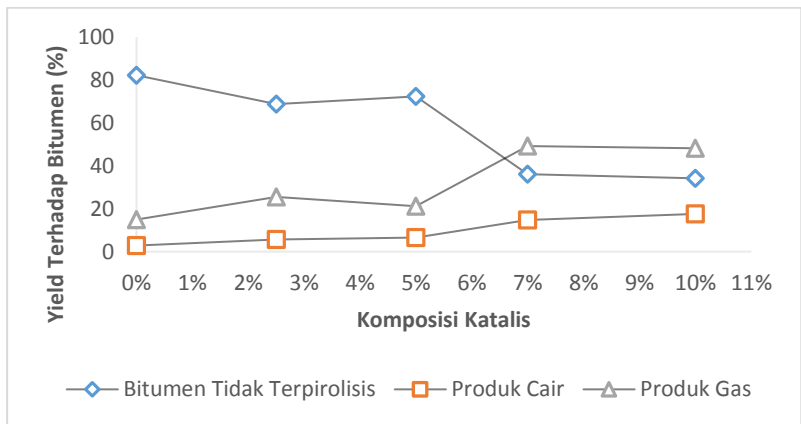
IV.5 Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap %Yield Pada Suhu

Pada **Gambar IV.9** (a), (b), (c) dan (d) menunjukkan profil produk pirolisis dengan suhu pirolisis 250 °C, 350 °C, 400°C dan 500°C tanpa dan dengan penambahan katalis 2,5%, 5%, 7%, dan 10%. Pada gambar tersebut dapat ditunjukkan bahwa produk cair dan produk gas cenderung meningkat dengan meningkatnya penambahan katalis. Pada suhu 250°C produk cair lebih sedikit dibandingkan produk gas, sedangkan sisa bitumen mengalami penurunan apabila dengan meningkatnya penambahan katalis. Berdasarkan kecenderungan bitumen sisa maka dapat disimpulkan bahwa bitumen yang terkonversi semakin

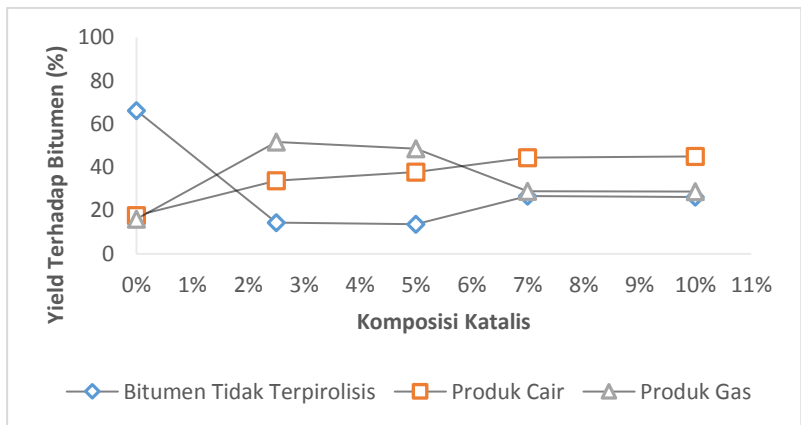
meningkat dengan penambahan katalis. Oleh karena itu, nampak bahwa katalis zeolit memiliki peranan penting dalam proses pirolisis bitumen.

Pada suhu 350°C profil produk cair dan gas serta bitumen sisa menunjukkan kecenderungan yang mirip dengan pada kondisi suhu pirolisis 250°C, yang membedakan adalah pada suhu 350°C ini proses pirolisis berlangsung lebih cepat yang ditunjukkan dengan penurunan bitumen sisa yang cenderung menurun dengan lebih cepat. Produk cair yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan pada suhu 250°C terutama penambahan katalis di atas 5%. Dari sini dapat disimpulkan bahwa suhu pirolisis memiliki peranan yang menentukan terhadap produk pirolisis selain penambahan katalis.

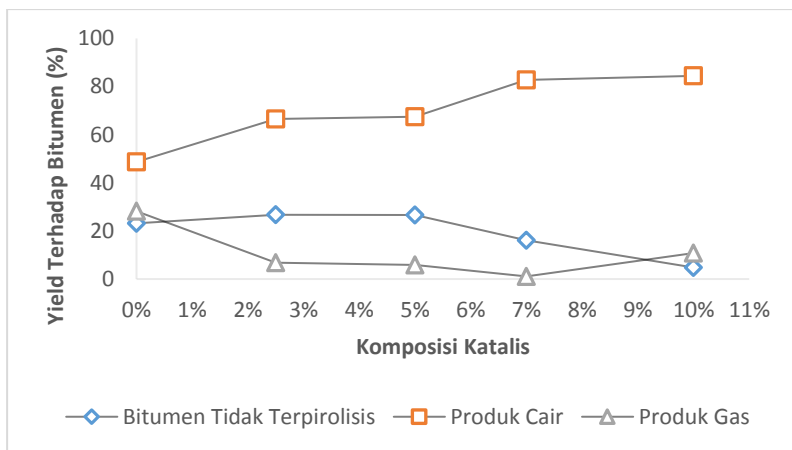
Pada suhu 400°C **Gambar IV.9 (c)** produk pirolisis banyak didominasi oleh produk cair dibandingkan produk gas yang mana produk gas relative jauh lebih rendah dari produk cair. Berdasarkan data tersebut pada suhu yang lebih tinggi, peranan katalis selain meningkatkan yield produk, selektivitas katalis juga mengalami peningkatan terhadap produk cair. Pada suhu 500°C **Gambar IV.9 (d)** profil produk cair, gas dan sisa bitumen memiliki profil yang sama dengan suhu 400°C. Pada suhu pirolisis 500°C produk cair yang dihasilkan sedikit lebih rendah dibandingkan dengan suhu pirolisis 400°C, dan sebaliknya produk gas mengalami sedikit peningkatan.



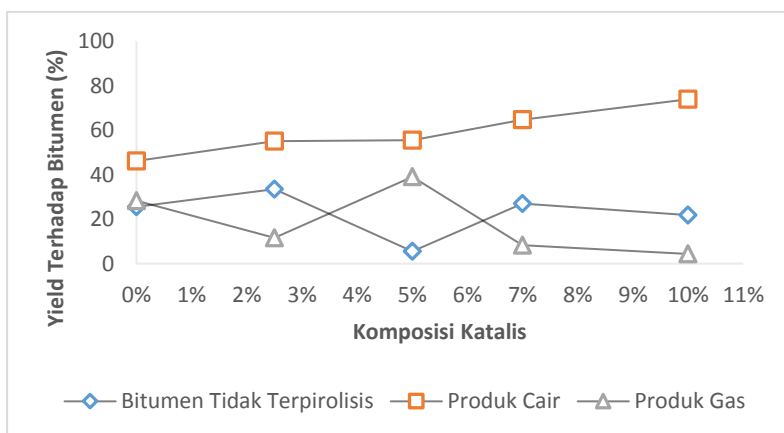
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar IV.9 Pengaruh Penambahan Katalis Zeolit Alam
Proses Pirolisis Bitumen Dalam Asbuton Pada Suhu Operasi
(a) 250°C, (b) 350°C, (c) 400°C, (d) 500°C**

Penambahan katalis mampu meningkatkan selektivitas dari produk cair. Zeolit alam sebagai katalis berfungsi menyaring molekul sehingga dapat mengontrol molekul yang masuk dan keluar dari situs aktif. Katalis zeolit memiliki pori-pori yang sangat kecil (mikropori), sehingga akan mencegah molekul-molekul besar seperti mineral yang terkandung dalam asbuton masuk ke dalam situs aktif. Sehingga mikropori pada katalis terisi oleh bitumen yang akan di-*cracking*. Hasil proses pirolisis untuk berbagai kondisi suhu dan penambahan katalis secara lebih lengkap dapat dilihat di Appendiks B.

BAB V

KESIMPULAN

V.1. Kesimpulan

1. Pada proses pirolisis tanpa penambahan katalis peningkatan suhu pirolisis sebanding dengan kenaikan yield produk cair hingga suhu 400°C dengan persentase yield produk cair sebesar 48.692%. Ketika suhu pirolisis dinaikan yield produk cair akan menurun dan diiringi dengan peningkatan yield produk gas. Kenaikan suhu pirolisis sebanding dengan jumlah bitumen yang terkonversi.
2. Penggunaan zeolit alam sebagai katalis pada proses pirolisis bitumen dalam asbuton pada suhu 400°C akan meningkatkan yield produk cair tiap penambahan jumlah katalis. Peningkatan jumlah katalis yang digunakan juga akan meningkatkan jumlah bitumen yang terkonversi. Yield produk cair tertinggi dicapai dengan penambahan 10% katalis sebesar 84.442%. Sedangkan penambahan katalis akan menurunkan yield produk gas hingga dengan penambahan katalis sebanyak 7%. Apabila jumlah katalis ditambah, jumlah gas yang dihasilkan cenderung konstan dengan rata-rata 10.533%.
3. Yield produk cair tertinggi yang diperoleh pada tiap suhu bergantung pada jumlah penambahan katalis. Semakin

banyak katalis yang digunakan semakin kecil suhu yang diperlukan untuk mencapai yield produk cair yang paling optimal. Apabila suhu pirolisis ditingkatkan diatas suhu optimalnya maka yield produk cair akan menurun. Yield produk cair tertinggi sebesar 84.442% diperoleh dalam kondisi suhu pirolisis 400°C dengan penambahan 10% katalis.

V.2. Saran

1. Perlu dilakukan analisa karakterisasi produk cair dan produk gas guna mengetahui lebih jelas komponen yang terdapat dalam produk.
2. Perlu dilakukan variasi dari katalis yang digunakan dalam proses katalitik pirolisis.
3. Perlu dilakukan analisa sisa padatan dengan menggunakan ekstraksi soklet guna mengetahui jumlah bitumen yang masih tersisa dalam padatan sehingga dapat diketahui lebih pasti jumlah bitumen yang tidak terpirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminati, I., Nugroho, A. (2015). “Proses Katalitik Pirolisis untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam”. Skripsi S1 Teknik Kimia ITS: Surabaya, 37-50.
- Atmadiputri, 2010. *Preparasi Zeolit Alam Sebagai Katalis Pada Reaksi Isomerasi Xylena*. Depok: Universitas Indonesia
- Awaluddin, A. 2008. “*Proses Pencairan Langsung Biomass Menjadi Bio-oil Dengan Menggunakan Thermo-Oil*”. Universitas Riau. 5-9.
- Colin, R., Nagib, P., Haidar., Poon, Y. (1984). “*Kinetic Models for the Thermal Cracking of Athabasca Bitumen*”. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto: Toronto.
- Departemen Pekerjaan Umum: Direktorat Jenderal Bina Marga. (2006). “Pemanfaatan Asbuton”. Pedoman Konstruksi dan bangunan No.001–01/BM/2006.
- Departemen Pekerjaan Umum: Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. “*Spesifikasi Umum Pembangunan Jalan dan Jembatan*”. Jakarta. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. (2014). “Outlook Energi Indonsia”, 13.
- Dickerson, Theodore. & Sorian, Juan. (2013). “*Catalytic Fast Pyrolysis: A Review*”. Applied Environtmental Science and Technology, School of Engineering, University of Alaska: Alaska, 514-538.

- Fatimah & Nugraha, J. (2005). "Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan Principal Component Analysis". Jurnal ILMU DASAR vol. 6 No. 1, 2005 : 41-47.
- Fauzi, H., (2012). "Ekstraksi Bitumen dari Batuan Aspal Buton Menggunakan Gelombang Mikro dengan Pelarut N-Heptana, Toluena, dan Etanol". Skripsi S1 Teknik Kimia UI: Depok, 1-23.
- Georgiev, D., Bogdanov, B., Angelova, K., Markovska, I., Hristov, Y., (2009). "*Synthetic Zeolite – Structure, Clasification, Current Trends In Zeolite Synthesis Review*". The 4-5th International Conference conference: Bulgaria
- Goyal, H., Seal, D., Saxena, R. (2006). "*Bio-Fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resource: A Review*". Indian Institute of Petroleum: Dehradun, 12:504-517.
- Hardono. (1998). "Preparasi CuO/Zelolit Alam Lampung dengan Impregnasi Menggunakan Larutan CuSO₄.5H₂O serta Karakteristik Untuk Eliminasi Gas Buang Sox". Skripsi S1 Teknik Kimia UI: Depok.
- Istadi & Amin. (2004). "Dasar-Dasar Karakterisasi Katalis". Fundamental dan Aplikasi Teknologi Katalis Untuk Konversi Energi, Bab 3:30-42.
- Junaid, A., Yin, H., Koenig, A., Swenson, P., Chowdhury, J., Burland, G., McCaffrey, W. (2009). "*Natural Zeolite Catalyzed Cracking-Assisted Light Hydrocarbon Extraction of Bitumen from Athabasca Oilsands*". Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta: Edmonton, General 354:44-49.

- Labadidi M., Satija I., Zhao E. (2014). "Counter-propagation edge modes and topological phases of a kicked quantum Hall system". George Mason University, 1-4.
- Leach, B.E. 1983. "Applied Industrial Catalysts". Volume 2. New York: Academic Press
- Lee, S., Heo H., Jeong, K., Yim, J., Jeon, J., Jung, K., Ko, Y. (2011). "*Catalytic Pyrolysis of Oilsand Bitumen Over Nanoporous Catalyst*". Journal of Nanoscience and Nanotechnology. Vol. 11. 759-762.
- Lestari, Yuanita D. (2010). "*Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*". Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. ISBN:978.
- Levenspiel, Octave. 1999. *Chemical Reaction Engineering. 3rd Edition* New York: John Wiley & Sons, 376-385.
- Liu, P., Zhu, M., Zhang, Z., Wan, W., Yani, S., Zhang, D. (2014). "*Thermogravimetric Studies of Characteristic and Kinetics of Pyrolysis of Buton Oil Sand*". The 6th International Conference on Applied Energy: Crawley, 61, 2741-2744.
- Ma Yue & Shuyuan Li. (2012). "*The pyrolysis, extraction and kinetics of Buton oil sand bitumen*". China : Laboratory of Heavy oil processing China University of Petroleum, Beijing, 100, 11-15.
- Miller, J. dan Misra M. (1982). *Hot Water Process Development For Utah Tar Sands*. Fuel Processing Technology Elsevier Journal, Vol 6, 27-59.

- Nasikin, M. (2016). "Pengembangan Skala Pilot Produksi Nano Aspal Melalui Ekstraksi Batuan Karbonat Dalam Asbuton Menggunakan Siklus Gas CO₂ Dalam Brine Water". Jurnal Universitas Indonesia.
- Nuryanto, A., (2009). "Aspal Buton (Asbuton) sebagai Bahan Bakar Roket Padat", Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol 7, 1, 39 – 45.
- Paris, O., Zollfrank, C., Zickler, G. (2004). "*Decomposition and Carbonisation of Wood Biopolymers a Microstructural Study of Softwood Pyrolysis*". Department of Biomaterials, Max Planck Institute of Colloids and Interface: Muhlenberg, 43, 53-66.
- Pertami, E., Nugroho, A. (2016). "Proses Katalitik Pirolisis untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam". Skripsi S1 Teknik Kimia ITS: Surabaya.
- Philips C., Haidar N., Poon YC. (1984). "*Kinetics Models For the Thermal Cracking of Athabasca Bitumen*". The Effect of the Sand Matrix. Fuel. 87:1585-1590.
- Qomar. (1996). "Penambangan dan Pengolahan Asbuton", One Day Seminar on Asbuton Technology ; Proceeding Vol 1 Ujung Pandang.
- Richardson, James T., (1989), "*Principles of Catalyst Development*", Plenum Press, New York (1989)
- Rumanto, B. (1989). "Pemanfaatan Aspal Buton (Asbuton) Ditinjau dari Aspek Penerapan Konstruksi Jalan raya". Majalah Badan Pengkajian dan Terapan Teknologi (BPPT), No. XXXII/1989, 121-131.
- Saputra R.. (2006). Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri. Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik (Engineering) v. 10/1, p. 13-25

- Siddiqui, Mohammad, N., (2010). “*Catalytic Pyrolysis of Arab Heavy Residue and Effects on the Chemistry of Asphaltene*”. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 89,2010, 278-285.
- Togar, Yan Mulders. (2012). “Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotilolit Aktif untuk Meningkatkan Bilangan Okatana pada Gasolin”. Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia: Depok.
- Wang, Li & Qing, Chunyan. (2011). “*Pyrolysis*”. Beijing
- Widayat, Ginting, M., Saputro, A. (2015). “Uji Karakteristik Pada Preparasi Katalis Zn/Zeolit” Jurnal Universitas Diponegoro, 33-35.
- Widhiyatna, Denni, R. Hutamadi, dan Sutrisno. 2012. Tinjauan Konservasi Sumber Daya Aspal Buton. Dipublikasikan dalam <http://psdg.bgl.esdm.go.id>
- Witanto, E., Trisunaryanti, W., Triyono. (2010). “Preparasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Aktif” Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, BATAN Yogyakarta, 743-745.
- Zhao, Y., & Yu, Y. (2011). “*Kinetics of Asphaltene Thermal Cracking and Catalytic Hydrocracking*” Fuel Processing Technology, 92:977-982.
- Zou, C., Zhao, P., Ge, T., Li, D., Ye, H., & Huang, G. (2016). “*Environmental Effects Bitumen Recovery From Buton Oil Sands Using a Surfactant Under The Effect Of Ultrasonic Waves*” Energy Sources, Part A:Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 38:2, 270-276.

DAFTAR NOTASI

m	Massa	Gram
V	Volume Larutan	ml
T	Temperatur	°C

APPENDIKS A

CARA PERHITUNGAN

1. Perhitungan Kadar Bitumen Awal dalam Asbuton

Untuk menentukan kadar bitumen awal pada asbuton dilakukan ekstraksi asbuton selama 4 jam dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$, menggunakan rangkaian alat ekstraksi soklet dengan pelarut Trichloroethylene (TCE).

Contoh perhitungan:

Massa Asbuton awal

Volume TCE ; T (suhu) operasi = 150 ml ; $\pm 70^{\circ}\text{C}$

Massa kertas saring

Mineral + kertas saring (setelah proses ekstraksi dan di oven)

Mineral kering (setelah diekstrak dan di oven)

Bitumen Terekstrak = Berat Asbuton – Berat Mineral

$$\text{Kadar Bitumen} = \frac{\text{Massa Bitumen Terekstrak}}{\text{Massa Asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-1})$$

Analisa kadar bitumen awal dilakukan sebanyak 3 kali kemudian dirata – rata.

2. Perhitungan Penambahan Katalis

Katalis = 2,5 % dari berat sampel Asbuton

$$\text{Kebutuhan katalis} = 2,5 \% \times 250 \text{ gram} = 6,25 \text{ gram}$$

3. Perhitungan Persen (%) Yield Produk

Perhitungan persen (%) yield produk tiap produk menggunakan perhitungan neraca massa dengan rumus dibawah ini:

(A-2)

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\%$$

4. Perhitungan Persen (%) Konversi Bitumen

% Konversi bitumen

(A-3)

$$= \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\%$$

APPENDIKS B

DATA HASIL PERHITUNGAN

Tabel B.1 Hasil Pengujian Kadar Bitumen

No	Keterangan	Hasil Ekstraksi 1	Hasil Ekstraksi 2	Hasil Ekstraksi 3
A	Berat Asbuton Awal	30 gram	30 gram	30 gram
B	Jumlah Pelarut TCE	300 ml	300 ml	300 ml
C	Kadar Air Dalam Asbuton	5,88 %	3,83 %	4,87 %
D	Berat Asbuton Akhir	21,84 gram	22,87 gram	21,75 gram
E	Berat Bitumen Dalam Asbuton	8,16 gram	7,13 gram	8,25 gram
F	% Berat Bitumen	27,2 %	23,767 %	27,5 %
G	Rata-Rata % Bitumen	26,156 %		

**Tabel B.2 Hasil Percobaan Pirolisis Bitumen Dalam
Asbuton**

No	Suhu Pirolisis	250	350	400	500
	Penambahan Katalis	-	-	-	-
a	Berat Gelas Stainless Steel	911,52	911,33	911,21	911,32
b	Berat Erlenmeyer Kosong	319,37	319,51	319,73	319,44
c	Berat Asbuton	250	250	250	250
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c)	1161,52	1161,33	1161,21	1161,32
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis	1149,88	1139,22	1110,94	1112,66
f	Berat erlenmeyer + produk	321,23	331,08	351,57	349,61
g	Berat sisa padatan (e-a)	238,36	227,89	199,73	201,34
h	Berat Produk cair (f-b)	1,86	11,57	31,84	30,17
i	Berat produk gas (c-(g+h))	9,78	10,54	18,43	18,49

No	Suhu Pirolisis	250	350	400	500
	Penambahan Katalis	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
a	Berat Gelas Stainless Steel	911,21	911,18	911,1	911,42
b	Berat Erlenmeyer Kosong	319,68	319,29	319,58	319,66

c	Berat Asbuton	250	250	250	250
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c)	1161,21	1161,18	1161,1	1161,42
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis	1140,83	1105,27	1113,18	1117,92
f	Berat erlenmeyer + produk	323,43	341,42	363,06	355,6
g	Berat sisa padatan (e-a)	229,62	194,09	202,08	206,5
h	Berat Produk cair (f-b)	3,75	22,13	43,48	35,94
i	Berat produk gas (c-(g+h))	16,63	33,78	4,44	7,56

No	Suhu Pirolisis	250	350	400	500
	Penambahan Katalis	5%	5%	5%	5%
a	Berat Gelas Stainless Steel	911,4	911,51	911,13	911,53
b	Berat Erlenmeyer Kosong	319,48	319,3	319,36	319,5
c	Berat Asbuton	250	250	250	250
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c)	1161,4	1161,51	1161,13	1161,53
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis	1143,3	1105,08	1113,18	1099,76
f	Berat erlenmeyer + produk	323,76	343,96	363,49	355,76

g	Berat sisa padatan (e-a)	231,9	193,57	202,05	188,23
h	Berat Produk cair (f-b)	4,28	24,66	44,13	36,26
i	Berat produk gas (c-(g+h))	13,82	31,77	3,82	25,51

No	Suhu Pirolisis	250	350	400	500
	Penambahan Katalis	7%	7%	7%	7%
a	Berat Gelas Stainless Steel	911,59	911,63	911,71	911,19
b	Berat Erlenmeyer Kosong	319,44	319,67	319,3	319,48
c	Berat Asbuton	250	250	250	250
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c)	1161,59	1161,63	1161,71	1161,19
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis	1119,78	1113,7	1106,87	1113,46
f	Berat erlenmeyer + produk	329,08	348,73	373,42	361,75
g	Berat sisa padatan (e-a)	208,19	202,07	195,16	202,27
h	Berat Produk cair (f-b)	9,64	29,06	54,12	42,27
i	Berat produk gas (c-(g+h))	32,17	18,87	0,72	5,46

No	Suhu Pirolisis	250	350	400	500
	Penambahan Katalis	10%	10%	10%	10%
a	Berat Gelas Stainless Steel	911,36	911,48	91,57	911,61
b	Berat Erlenmeyer Kosong	319,58	319,74	319,17	319,39
c	Berat Asbuton	250	250	250	250
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c)	1161,36	1161,48	341,57	1161,61
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis	1118,32	1113,23	279,32	1110,47
f	Berat erlenmeyer + produk	331,07	349,16	374,39	367,68
g	Berat sisa padatan (e-a)	206,96	201,75	187,75	198,86
h	Berat Produk cair (f-b)	11,49	29,42	55,22	48,29
i	Berat produk gas (c-(g+h))	31,55	18,83	7,03	2,85

Tabel B.3 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton Tanpa Menggunakan Katalis

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
250	238,36	1,86	9,78	250	95,344	0,744	3,912	100%
350	227,89	11,57	10,54	250	91,156	4,628	4,216	100%
400	199,73	31,84	18,43	250	79,892	12,736	7,372	100%
500	201,34	30,17	18,49	250	80,536	12,068	7,396	100%

Tabel B.4 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton Dengan Menggunakan Katalis 2,5%

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
250	229,62	3,75	16,63	250	91,848	1,500	6,652	100%
350	194,09	22,13	33,78	250	77,636	8,852	13,512	100%
400	202,08	43,48	4,44	250	80,832	17,392	1,776	100%
500	206,5	35,94	7,56	250	82,600	14,376	3,024	100%

**Tabel B.5 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton
Dengan Menggunakan Katalis 5%**

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
250	231,9	4,28	13,82	250	92,760	1,712	5,528	100%
350	193,57	24,66	31,77	250	77,428	9,864	12,708	100%
400	202,05	44,13	3,82	250	80,820	17,652	1,528	100%
500	188,23	36,26	25,51	250	75,292	14,504	10,204	100%

**Tabel B.6 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton
Dengan Menggunakan Katalis 7%**

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
250	208,19	9,64	32,17	250	83,28	3,86	12,87	100%
350	202,07	29,06	18,87	250	80,83	11,62	7,55	100%
400	195,16	54,12	0,72	250	78,06	21,65	0,29	100%
500	202,27	42,27	5,46	250	80,91	16,91	2,18	100%

**Tabel B.7 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton
Dengan Menggunakan Katalis 10%**

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
250	206,96	11,49	31,55	250	82,784	4,596	12,620	100%
350	201,75	29,42	18,83	250	80,700	11,768	7,532	100%
400	187,75	55,22	7,03	250	75,100	22,088	2,812	100%
500	198,86	48,29	2,85	250	79,544	19,316	1,140	100%

Tabel B.8 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Bitumen Tanpa Menggunakan Katalis

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (26,156% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			% Yield Terhadap Bitumen			TOTAL % Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
250	250	65,390	1,86	9,78	53,750	2,844	14,956	82,199	100%
350	250	65,390	11,57	10,54	43,280	17,694	16,119	66,187	100%
400	250	65,390	31,84	18,43	15,120	48,692	28,185	23,123	100%
500	250	65,390	30,17	18,49	16,730	46,139	28,276	25,585	100%

Tabel B.9 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Bitumen Dengan Menggunakan Katalis 2,5%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (26,156% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			% Yield Terhadap Bitumen			TOTAL % Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
250	250	65,390	3,75	16,63	45,010	5,735	25,432	68,833	100%
350	250	65,390	22,13	33,78	9,480	33,843	51,659	14,498	100%
400	250	65,390	43,48	4,44	17,470	66,493	6,790	26,717	100%
500	250	65,390	35,94	7,56	21,890	54,963	11,561	33,476	100%

Tabel B.10 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Bitumen Dengan Menggunakan Katalis 5%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (26,156% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			% Yield Terhadap Bitumen			TOTAL % Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
						F	G	H	
250	250	65,390	4,28	13,82	47,290	6,545	21,135	72,320	100%
350	250	65,390	24,66	31,77	8,960	37,712	48,585	13,702	100%
400	250	65,390	44,13	3,82	17,440	67,487	5,842	26,671	100%
500	250	65,390	36,26	25,51	3,620	55,452	39,012	5,536	100%

Tabel B.11 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Bitumen Dengan Menggunakan Katalis 7%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (26,156% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			% Yield Terhadap Bitumen			TOTAL % Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
A	B	C	D	E	F	G	H		
250	250	65,390	9,64	32,17	23,580	14,742	49,197	36,061	100%
350	250	65,390	29,06	18,87	17,460	44,441	28,858	26,701	100%
400	250	65,390	54,12	0,72	10,550	82,765	1,101	16,134	100%
500	250	65,390	42,27	5,46	17,660	64,643	8,350	27,007	100%

Tabel B.12 Hasil Pehitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Bitumen Dengan Menggunakan Katalis 10%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton ($26,156\% * A$) (gram)	Massa Bitumen (gram)			% Yield Terhadap Bitumen			TOTAL % Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
250	250	65,390	11,49	31,55	22,350	17,571	48,249	34,180	100%
350	250	65,390	29,42	18,83	17,140	44,992	28,796	26,212	100%
400	250	65,390	55,22	7,03	3,140	84,447	10,751	4,802	100%
500	250	65,390	48,29	2,85	14,250	73,849	4,358	21,792	100%

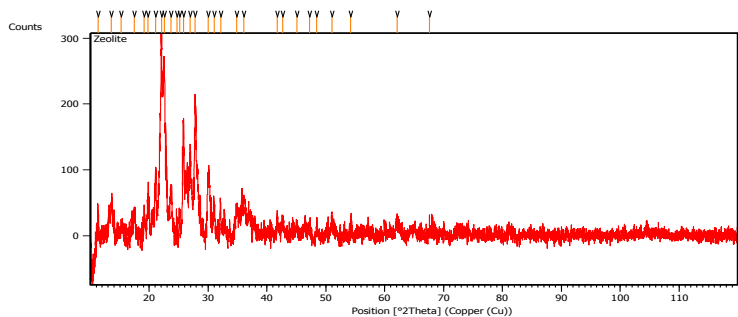
APPENDIKS C

HASIL KARAKTERISASI XRD

1. Hasil Karakterisasi XRD Zeolit alam Sebelum Aktivasi

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.2956	45.79	0.1338	7.83369	14.91
13.5717	46.72	0.2676	6.52459	15.21
15.2055	10.61	0.8029	5.82702	3.46
17.4723	35.57	0.2676	5.07582	11.58
19.1123	29.73	0.2007	4.64381	9.68
19.7879	65.46	0.2007	4.48676	21.31
21.1089	98.53	0.1338	4.20887	32.09
22.0590	307.10	0.1673	4.02968	100.00
22.5633	260.26	0.2342	3.94075	84.75
23.7076	86.23	0.2007	3.75307	28.08
24.6736	38.25	0.2007	3.60827	12.46
25.1578	51.80	0.2007	3.53992	16.87
25.8024	190.23	0.2007	3.45292	61.94
26.9689	151.34	0.1673	3.30617	49.28
27.7507	183.40	0.2007	3.21478	59.72
30.0210	110.45	0.4015	2.97663	35.97
31.0527	58.87	0.2342	2.88005	19.17
32.1416	64.44	0.1338	2.78493	20.98
34.8833	42.69	0.2007	2.57206	13.90
36.0425	38.40	0.8029	2.49196	12.50
41.7383	28.86	0.2007	2.16413	9.40
42.6782	18.31	0.4015	2.11862	5.96
45.0347	18.99	0.2007	2.01308	6.18
47.1880	18.19	0.4015	1.92612	5.92
48.4568	23.23	0.2007	1.87862	7.56
50.9930	38.33	0.1338	1.79098	12.48
54.2198	9.50	0.4015	1.69177	3.09

62.0722	18.01	0.5353	1.49529	5.87
67.5542	12.78	0.2007	1.38667	4.16

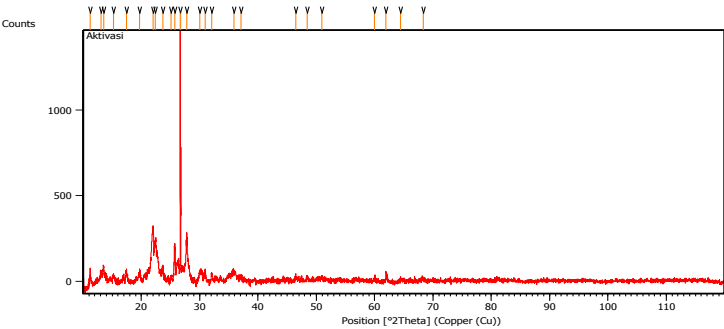


Gambar C.1 Grafik Spektrum Difraksi Sinar-X Katalis Zeolit Sebelum Aktivasi

2. Hasil Karakterisasi XRD Zeolit alam Setelah Aktivasi

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.2221	121.84	0.1338	7.88481	7.78
13.0773	82.09	0.2676	6.77011	5.24
13.5136	117.46	0.1673	6.55253	7.50
15.2490	50.84	0.2676	5.81048	3.25
17.4401	75.29	0.2007	5.08510	4.81
19.6751	68.27	0.2676	4.51222	4.36
22.0109	333.92	0.1004	4.03839	21.32
22.4161	256.32	0.2676	3.96630	16.37
23.7013	104.76	0.2342	3.75406	6.69
25.0861	55.23	0.2007	3.54987	3.53
25.7133	231.46	0.2007	3.46469	14.78
26.6705	1566.21	0.0612	3.33971	100.00
26.7555	727.14	0.0408	3.33757	46.43
27.8178	285.41	0.2448	3.20452	18.22
29.9812	81.29	0.4080	2.97803	5.19
30.9535	76.26	0.1224	2.88667	4.87

32.0794	47.86	0.2448	2.78787	3.06
35.8266	59.44	0.6528	2.50440	3.80
37.0754	30.70	0.4896	2.42287	1.96
46.4574	16.58	0.6528	1.95308	1.06
48.4427	25.78	0.2448	1.87758	1.65
50.9837	27.70	0.2448	1.78980	1.77
59.9952	14.23	0.4896	1.54071	0.91
61.9623	62.82	0.0612	1.49643	4.01
64.3995	9.73	0.9792	1.44556	0.62
68.3111	9.29	0.9792	1.37200	0.59



Gambar C.2 Grafik Spektrum Difraksi Sinar-X Katalis Zeolit Setelah Aktivasi

APPENDIKS D

HASIL KARAKTERISASI BET

Tabel D.1 Analisa BET Katalis Zeolit Alam Sebelum Aktivasi

Analysis		Report	
Operator:ITS		Date:2016/11/04	Operator:ITS
Date:11/9/2016			
Sample ID: Rizka Perpan		Filename:	
C:\QCdata\Physisorb\2016 11 04 Rizka Perpan\Zeolit Belum Aktivasi.qps			
Sample Desc: Powder		Comment:	4 November 2016
Sample weight: 0.27684 g		Sample Volume: 0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs		OutgasTemp: 300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen		Bath Temp: 77.3 K	
Press. Tolerance:0.050/2.000 (ads/des)Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)			
Analysis Time: 41.0 min		End of run: 2016/11/04 15:11:47	
Instrument: Nova Station A			
Cell ID: 29			
Adsorbate Nitrogen		Temperature 77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g		Cross Section: 16.200 Å²	
Liquid Density: 0.808 g/cc			
Surface Area : 41.2100 m²/g		Sample Weight : 0.27684 g	
Relative Pressure : 2.96328 x 10 ⁻⁰¹ P/Po			
Volume @ STP : 13.4552 cc/g		Slope : 84.5067	

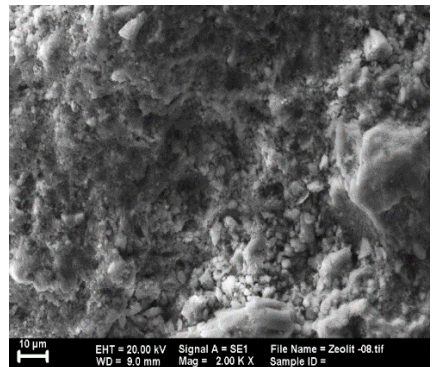
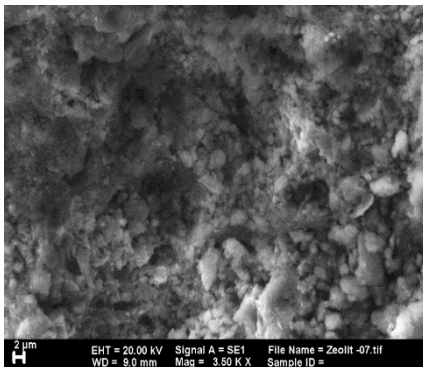
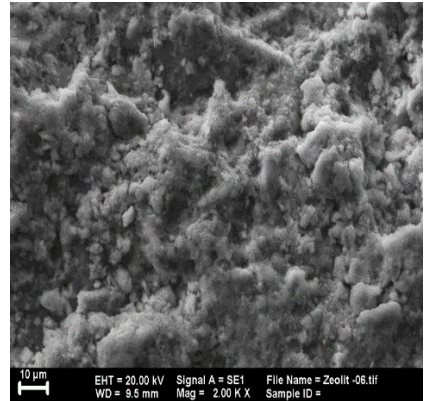
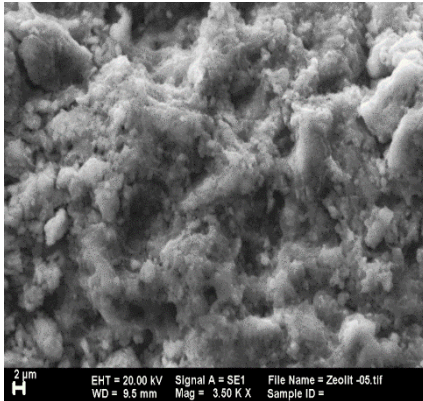
Tabel D.2 Analisa BET Katalis Zeolit Alam Setelah Aktivasi

Analysis	Report
Operator:ITS Date:11/9/2016	Date:2016/11/04 Operator:ITS
Sample ID: Rizka Perpan C:\QCdata\Physisorb\2016 11 04 Rizka Perpan\Zeolit aktivasi.qps	Filename: C:\QCdata\Physisorb\2016 11 04 Rizka Perpan\Zeolit aktivasi.qps
Sample Desc: Powder	Comment: 3 November 2016
Sample weight: 0.28826 g	Sample Volume: 0 cc
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance:0.050/2.000 (ads/des)Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)	
Analysis Time: 38.5 min 20:20:04 Instrument: Nova Station A	End of run: 2016/11/04
Cell ID: 26	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Liquid Density: 0.808 g/cc	Cross Section: 16.200 Å ²
Surface Area : 18.4930 m ² /g	Sample Weight : 0.28826 g
Relative Pressure : 2.97875 x 10 ⁻⁰¹ P/Po	
Volume @ STP : 6.0513 cc/g	Slope : 188.3158

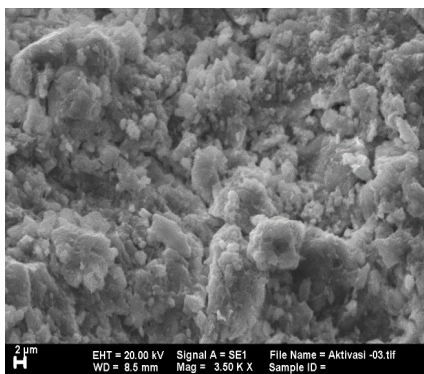
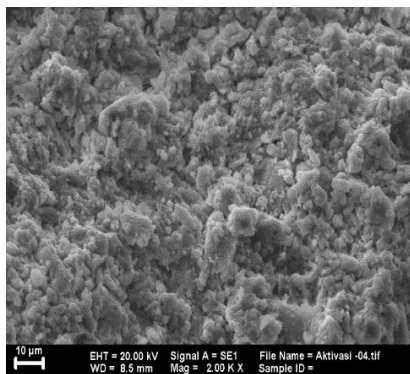
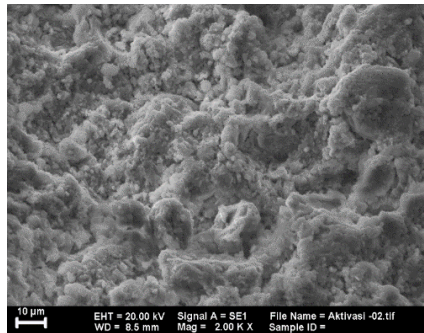
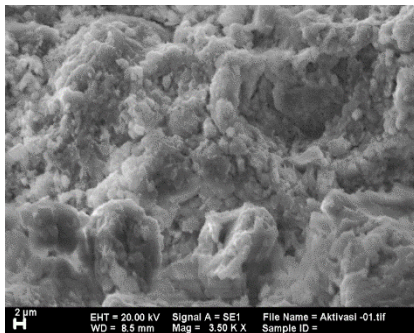
APPENDIKS E

HASIL KARAKTERISASI SEM

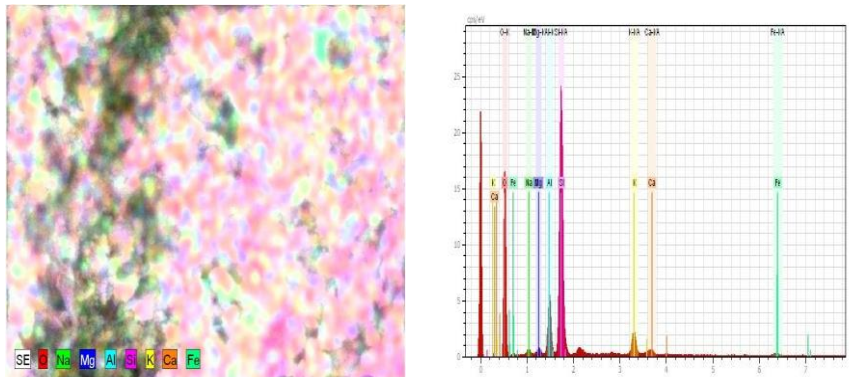
Gambar E.1 Katalis Zeolit Alam Sebelum Aktivasi



Gambar E.2 Katalis Zeolit Alam Setelah Aktivasi



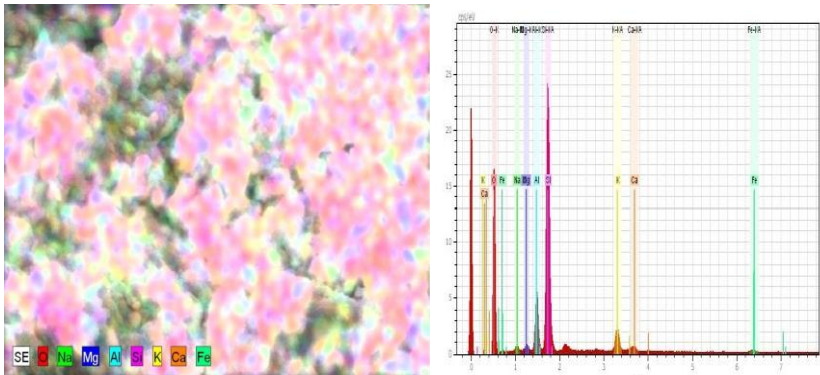
**Gambar E.3 Analisa SEM-EDX Katalis Zeolit Sebelum Aktivasi
Dengan Perbesaran 490x**



**Tabel E.1 Berbagai Kandungan Dalam Katalis Zeolit Alam Sebelum
Diaktivasi**

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	51.96	62.15	75.10	6.2
Na	11	K-series	0.80	0.96	0.80	0.1
Mg	12	K-series	0.20	0.24	0.19	0.0
Al	13	K-series	5.33	6.37	4.56	0.3
Si	14	K-series	19.68	23.54	16.20	0.9
K	19	K-series	4.00	4.78	2.36	0.2
Ca	20	K-series	0.60	0.72	0.35	0.0
Fe	26	K-series	1.04	1.25	0.43	0.1
Total:			83.61	100.00	100.00	

**Gambar E.4 Analisa SEM-EDX Katalis Zeolit Setelah Aktivasi
Dengan Perbesaran 490x**



**Tabel E.2 Berbagai Kandungan Dalam Katalis Zeolit Alam
Setelah Diaktivasi**

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	52.47	63.68	76.28	6.3
Na	11	K-series	0.69	0.83	0.70	0.1
Mg	12	K-series	0.30	0.36	0.29	0.0
Al	13	K-series	4.78	5.81	4.12	0.3
Si	14	K-series	19.20	23.30	15.90	0.8
K	19	K-series	3.03	3.68	1.80	0.1
Ca	20	K-series	0.64	0.77	0.37	0.0
Fe	26	K-series	1.29	1.57	0.54	0.1
Total:			82.39	100.00	100.00	

APPENDIKS F

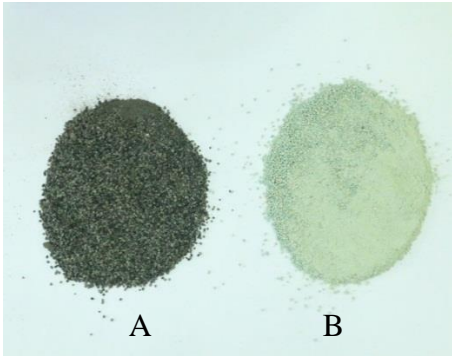
FOTO KEGIATAN



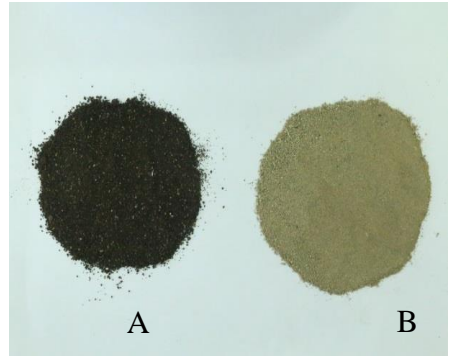
Keterangan Alat

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. Thermocouple | 6. Kondensor |
| 2. Tangki reaktor | 7. Enlenmeyer vakum |
| 3. Batu tahan api | 8. Kantong gas |
| 4. Kontroler | 9. Ember |
| 5. <i>Vacum pump</i> | |

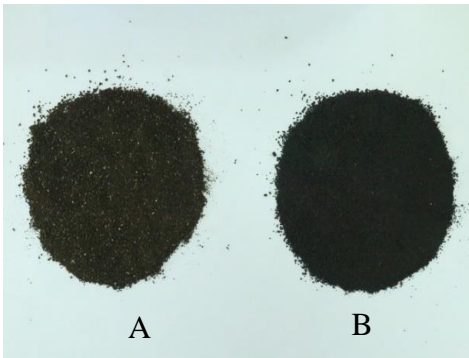
Gambar F.1 Rangkaian Alat Pirolisis



**Gambar F.2 Katalis Zeolit Sesudah
(A) dan Sebelum (B) Aktivasi**



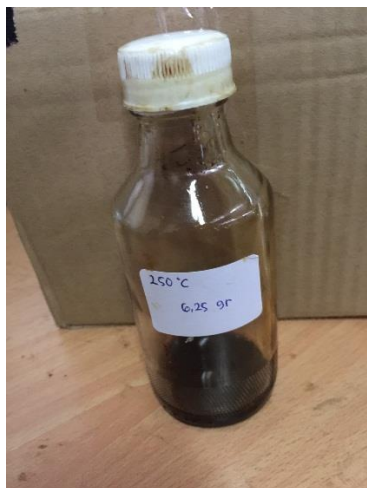
**Gambar F.4 Asbuton Sebelum (A) dan
Sesudah (B) Ekstraksi**



**Gambar F.5 Asbuton Sebelum (A)
dan Sesudah (B) Pirolisis**



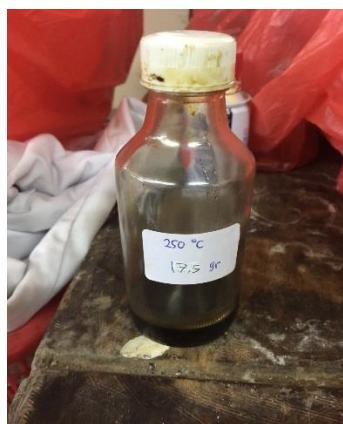
**Gambar F.6 Kerak Selama
Proses Pirolisis**



**Gambar F.7 Produk Cair Suhu 250°C
Menggunakan Katalis 2,5%**



**Gambar F.8 Produk Cair Suhu 250°C
Menggunakan Katalis 5%**



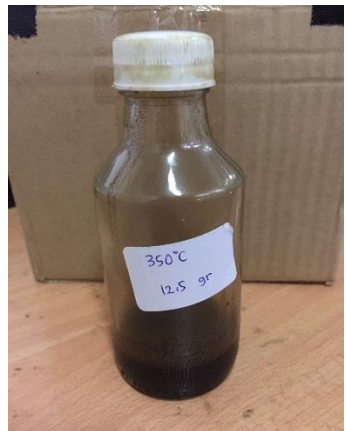
**Gambar F.9 Produk Cair Suhu 250°C
Menggunakan Katalis 7%**



**Gambar F.10 Produk Cair Suhu 250°C
Menggunakan Katalis 10%**



Gambar F.11 Produk Cair Suhu 350°C Menggunakan Katalis 2,5%



Gambar F.12 Produk Cair Suhu 350°C Menggunakan Katalis 5%



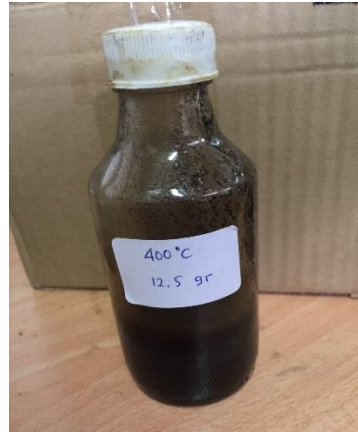
Gambar F.13 Produk Cair Suhu 350°C Menggunakan Katalis 7%



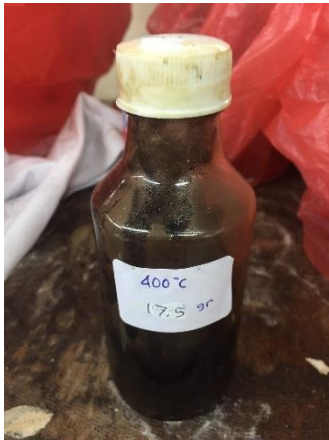
Gambar F.14 Produk Cair Suhu 350°C Menggunakan Katalis 10%



Gambar F.15 Produk Cair Suhu 400°C Menggunakan Katalis 2,5%



Gambar F.16 Produk Cair Suhu 400°C Menggunakan Katalis 5%



Gambar F.17 Produk Cair Suhu 400°C Menggunakan Katalis 7%



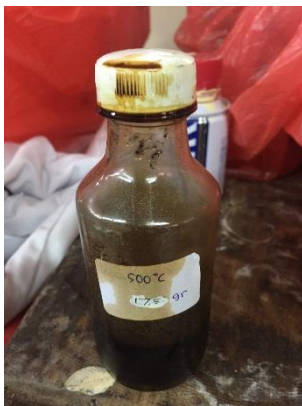
Gambar F.18 Produk Cair Suhu 400°C Menggunakan Katalis 10%



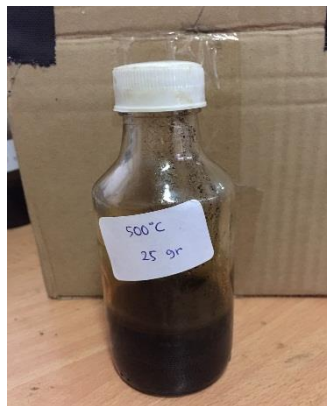
Gambar F.19 Produk Cair Suhu 500°C Menggunakan Katalis 2,5%



Gambar F.20 Produk Cair Suhu 500°C Menggunakan Katalis 5%



Gambar F.21 Produk Cair Suhu 500°C Menggunakan Katalis 7%



Gambar F.22 Produk Cair Suhu 500°C Menggunakan Katalis 10%



**Gambar F.23 Produk Cair Suhu
250°C Tanpa Katalis**



**Gambar F.24 Produk Cair Suhu 350°C
Tanpa Katalis**



**Gambar F.25 Produk Cair Suhu
400°C Tanpa Katalis**



**Gambar F.26 Produk Cair Suhu 500°C
Tanpa Katalis**

RIWAYAT PENULIS



Riskhany Yuliarti, lahir pada tanggal 23 Juli 1993 di Cirebon. Penulis merupakan mahasiswa S1 Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama berkuliah, Penulis yang merupakan anak kelima dari delapan bersaudara ini memiliki antusiasme yang tinggi untuk mengembangkan diri di bidang proses pemisahan, dan konversi energi. Selain berkuliah penulis juga menimba pengalaman berorganisasi di Jama'ah Masjid Manarul Ilmi JMMI ITS. Penulis melakukan Kerja Praktik di PT Petrokimia Gresik di Departemen *Produksi* Pabrik III-B. Penulis yang menaruh minat lebih memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “**Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam**”. Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu terselesaikannya buku ini, yang dapat dilaksanakan dengan baik berkat bimbingan dari dosen–dosen Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Kimia ITS. Untuk kepentingan korespondensi penulis dapat dihubungi pada alamat email riskhany.yuliarti@yahoo.co.id

BIODATA PENULIS

Nama : Riskhany Yuliarti
TTL : Cirebon, 23 Juli 1993
Alamat : Jalan Perjuangan Komp P&K No.A/46 RT 01 RW 10
Kel.Sunyaragi Kec.Kesambi Kota Cirebon
No. HP : 085797145355

RIWAYAT PENULIS



Arteria Widya Utama adalah mahasiswa S1 Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang memiliki minat pada proses kimia dan pemisahan. Selama berkuliah, penulis memiliki antusiasme tinggi untuk mata kuliah operasi teknik kimia, manajemen proyek dan komputasi teknik kimia. Penulis yang pada tahun terakhir aktif di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa ini memiliki hobi membaca

dan traveling. Penulis melakukan kerja praktek di Departemen Produksi IIIB PT. Petrokimia Gresik. Penulis juga memiliki semangat tinggi untuk melakukan riset. Salah satu riset yang pernah dilakukannya, yakni **“Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam”**, yang hasil penelitiannya telah berada di tangan Anda. Semua itu dapat dilaksanakan dengan baik berkat bimbingan dari dosen-dosen Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Kimia ITS. Selain itu penulis juga cukup menguasai aplikasi proses seperti Matlab. Untuk kepentingan korespondensi penulis dapat dihubungi pada alamat email widyaaarteria@gmail.com.

BIODATA PENULIS

Nama : Arteria Widya Utama L.
TTL : Semarang, 10 Juli 1993
Alamat : Jalan Garit Ds.Tulakan Kec. Sine RT 002 RW 001
No. HP : 082132677528